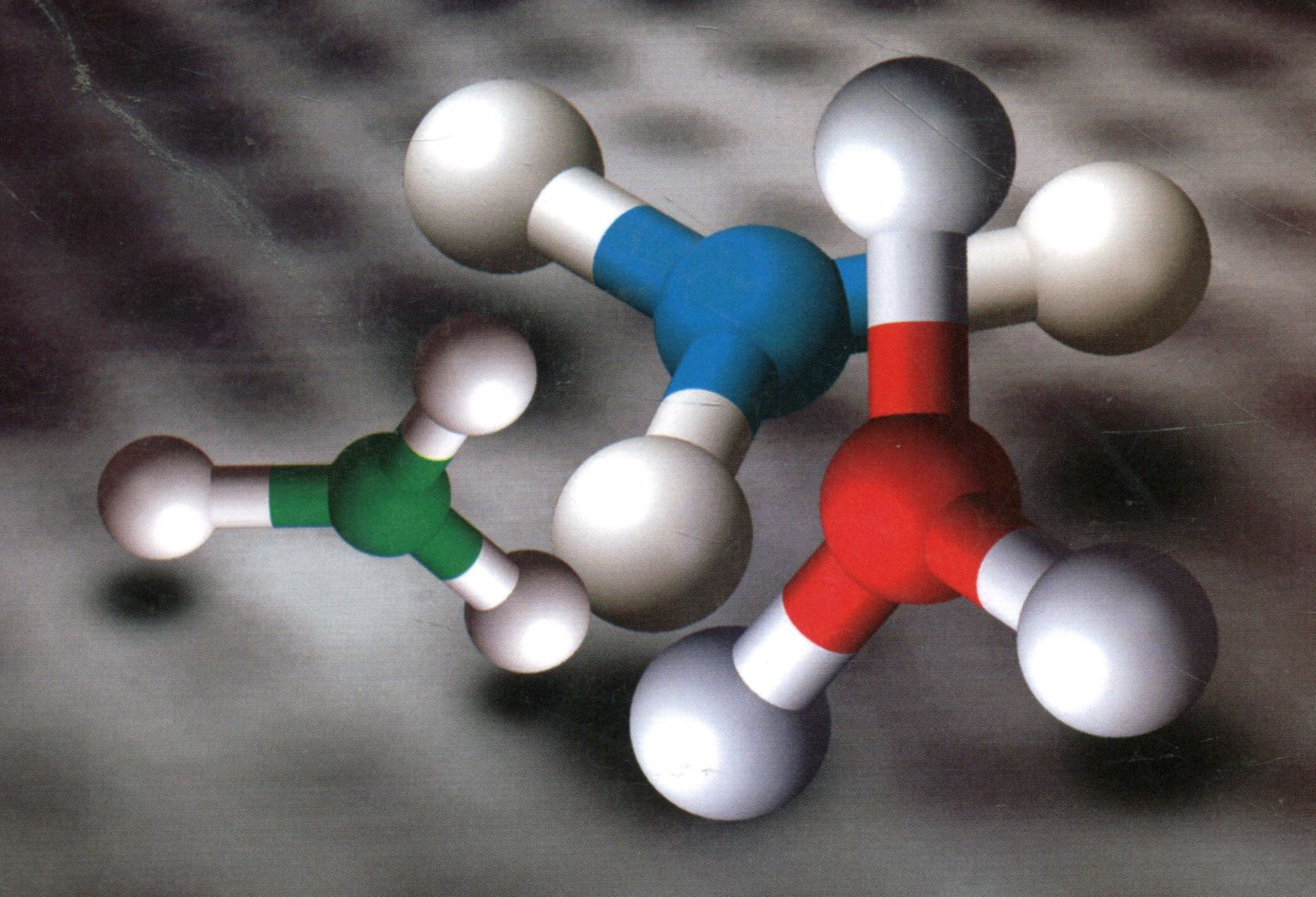
فيزياء
الذرات الفائقة

مدخل الى كثافة بوز أينشتاين





الدكتور
محمد هاشم البشير محمد



فيزياء الذرات الفائقة

مدخل إلى كُثافة بوز- اينشتاين



رقم التصنيف : 539.7

المؤلف ومن هو في حكمه : محمد هاشم البشير.

عنوان الكتاب : فيزياء الذرات الفائقة: مدخل إلى كثافة بوز اينشتاين.

رقم الإيداع : 2011/6/2140

الواصفات : الفيزياء الذرية//الكتلة الذرية/

بيانات الناشر : عمان – دار ومكتبة الحامد للنشر والتوزيع

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبّر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية أو أي جهة حكومية اخرى.

(ردمك) ISBN 978-9957-32-607-4

تم إعداد بيانات الفهرسة والتصنيف الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية.

الطبعة الأولى 2012-1433هـ



دار الحامد للنشر والتوزيع

الأردن - عمان - شفا بدران - شارع العرب مقابل جامعة العلوم التطبيقية

هاتف: 5231081 6 962+ فاكس: 5235594 6 962+

ص.ب. (366) الرمز البريدي: (11941) عمان – الأردن

www.daralhamed.net

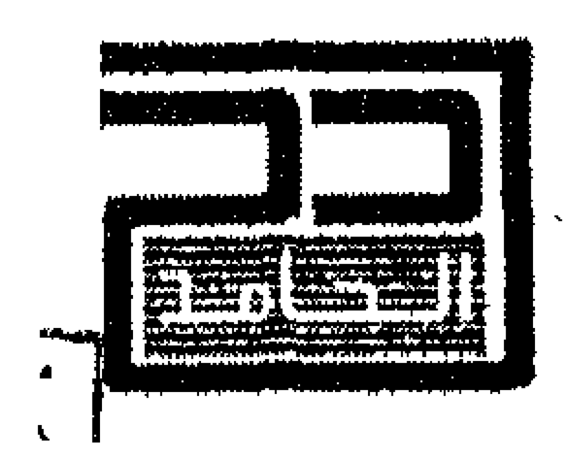
E-mail : daralhamed@yahoo.com

فيزياء الذرات الفائقة

مدخل إلى كثافة بوز- اينشتاين

الدكتور

محمد هاشم البشير محمد





قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا

إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ


صدق الله العظيم

سورة البقرة: الآية (32)

الإهـــــــــداء

إلى أخي: الأستاذ/ البشير هاشم البشير ...

إلى أختي: الأستاذة /إنعام هاشم البشير



محتويات الكتاب

المحتويات

الموضـــــــــــــــوع	الصفحة

مفهوم المادة في الفيزياء

لمحة عامة:

عرفت المادة قديماً بأنها هي: كل ما له كتلة وحجم ويشغل حيزاً من الفراغ. مع اعتبار خصائص المادة المتعارف عليها والتي منها الحجم، والكتلة، والكثافة. وهي بذلك تشكل ما يعرف بالكون الملموس. حديثاً وبعد ان هدمت النظرية النسبية الفاصل بين المادة والطاقة بمعادلة آينشتاين الشهيرة $E=mc^2$. فإن المادة هي جزء من كوننا، ولا يُمكن إطلاق هذا المصطلح على ما وراءه.

تطور مفهوم المادة:

فيثاغورس(852-497ق.م):

المادة تتكون من أربع عناصر هي النار والهواء والتراب والماء.

إمبدلوكس (490-430ق.م):

تتكون المادة من أربع عناصر هي النار والهواء والتراب والماء وتتفاعل هذه العناصر مع قوى الحب والكراهية لتولد أشكالا متعددة من المادة.

ديموكريتس (460–380ق.م):

فقد أعطى مفهوم جديد للمادة وهو أن العالم مصنوع من فراغ واسع يحوي المادة. والمادة بشتى أنواعها تتكون من جسيمات مفردة (atomos) لا يمكن تجزئتها، وهي من الصغر بحيث لا يمكن تخيل جسيمات أصغر منها، كما ذكر ديموكريتس أيضا أن الذرات تختلف في شكلها الفيزيائي مما يسمح لها بتكوين مواد مختلفة.

بنيامين فرانكلين (1706–1790م):

وجود الكهربية الموجبة والسالبة، وأثبت أن البرق ما هو إلا تراكم من الشحنات الكهربائية في السحب، واستنتج أن الكهرباء هي مائع رقيق يمكن أن يوجد بزيادة أو نقصان داخل المادة.

لافوازييه (1743–1794م):

النار ليست عنصر من العناصر وقد أثبت أيضا أن أي شكل من أشكال المادة له كتلة ثابتة وهو المبدأ الذي كان مفيدا فيما تبعه من أبحاث أجريت على المادة وفي عام 1789م.

هنري كافيندش:

الماء يتكون من الأكسجين والهدروجين وأدت هذه الاكتشافات إلى قيام العلماء بالبحث عن عناصر جديدة ،فتم اكتشاف عدد كبير من العناصر خلال العقود التي تلت ذلك.

جوزيف براوست (1754-1826م):

تحليل عدد من المركبات وأثبت أن العناصر تتحد بنسب محددة لتكوين المركبات.

جون دالتون (1766-1844م):

وهو أبو النظرية الذرية الحديثة وحسب هذه النظرية فإن جميع المواد تتكون من عدد صغير من العناصر الكيميائية، وكل عنصر يتكون من ذرات صغيرة متماثلة.

وتتحد ذرات العناصر بنسب محددة لتكوين المركبات ، وأسس دالتون كذلك فكرة الوزن الذري النسبي للعناصر ،وجاء فيما بعد أميديو أفوغدرو (1776-1856م)ففرق بشكل واضح بين الذرات والجزيئات وقام بتصحيح الأوزان الذرية التي اقترحها دالتون وقدم مبدأه المفيد للغاية والذي أسهم في تطور النظرية الذرية الحديثة. ونص المبدأ على أن الحجم الثابت من أي غاز عند درجة حرارة وضغط معينين يحوي دائما عدد ثابت من الجزيئات.

ميشيل فاراداي (1791-1867م):

درس انتقال الايونات تحت تأثير المجال الكهربائي الناتج عن موصّل موجب (مصعد) وموصل سالب (مهبط) لخلية فولطية وطور بذلك قوانين التحلل الكهربائي.هذه القوانين كونت علاقة بين الكهرباء والذرة مما قاد بعد ذلك إلى ما يعرف بمبدأ الوحدة الذرية الكهربائية. وهذا يعني أن الذرة أو الجزيء المشحون كهربائيا يجب أن يحمل دائما عدد صحيح من وحدات الشحنة الكهربائية.

بحلول عام 1850م تم اكتشاف عدد كبير من العناصر وتم تحديد كتلها الذرية.وقد أعيد بعد ذلك تحديد الكتل الذرية التي سبق أن حددت بالنسبة لذرة الهدروجين وتمت نسبتها إلى كتلة ذرة الأوكسجين ، وباكتشاف ذلك العدد الكبير من العناصر بحث العلماء عن طرق ملائمة يمكن بواسطتها ترتيب هذه العناصر على شكل مجموعات محددة حسب خواصها الكيميائية والفيزيائية فكان أفضل تصنيف ما يطلق عليه تصنيف مادليف.

أصبح الآن من المعروف أن المادة تتكون من مجموعة من الجزيئات و كل جزئ يتكون من عدد من الذرات و تتكون الذرة من نواة موجبة الشحنة و تتركز فيها معظم كتلة الذرة و هذه النواة تحاط بإلكترونات سالبة الشحنة. و يعرف عدد البروتونات في النواة بالعدد الذرى. أما مجموع البروتونات و النيترونات (ذات الشحنة المتعادلة)

يعرف بالعدد الكتلي أو الكتلة الذرية. و الذرة في حالتها العادية تكون متعادلة كهربيا حيث أن عدد البروتونات (الشحنات الموجبة) يساوى عدد الإلكترونات (الشحنات الموجبة). وعندما تكتسب الذرة إلكترون يزداد عدد الشحنات السالبة في هذه الذرة وتتحول إلى أيون سالب، و عندما تفقد الذرة إلكترون يزداد عدد الشحنات الموجبة داخلها و تتحول إلى أيون موجب. وتسمى عملية فقد أو اكتساب الإلكترونات بعملية التأين.

إن تصور الذرة الحديث كان سبباً رئساً في النظرية الثورية الجديدة ميكانيكا الكم.. فعندما وضع رذرفورد نموذجه للذرة كان هناك تناقضاً واضحاً بين نموذجه والنظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية.. قام رذرفورد بدراسة التوزيع الزاويّ لتشتت جسيّمات ألفا وتفاجأ بأنّ جسيمات ألفا تمر أحياناً بدون انحراف عبر الذرة و هذا يدل على أنّ جسيّمات ألفا قد مرّت في فراغ. ولكنّها ترتد في حالات وتنحرف قليلاً في حالات أخرى مما يدل على أنَّ جسيم ألفا قد أصطدم بجسيم صغير داخل الذرة. من هنا اكتشف رذرفورد أن هنالك شحنات موجبة داخل الذرات وأنها هي المسئولة عن صد أشعة ألفا موجبة الشحنة. كما استنتج أن تلك الجسيمات تتركز في مكان صغير جدا في مركز الذرة سماها البروتونات. ثم أعقب ذلك اكتشاف النيوترون بعد أن تنبأ بها رذرفورد وبرهن على وجودها شادويك والنيوترون يشكل مع البروتون نواة الذرة ومعظم كتلتها.

بناء على ذلك أقترح رذرفورد في عام 1911م بأن نواة الذرة وهي اصغر بكثير من حجم الذرة و تدور حولها جميع الالكترونات وتتركز بها كتلة الذرة. وهذا ما خالف به نظرية أستاذه طومسون الذي قال بانّ الذرة مصمتة. لكن رذرفورد اثبت أن معظم الذرة فراغ و كان ذلك انجازاً عظيماً فقد استطاع رذرفورد الإجابة على الأسئلة حول مكونات الذرة و كيفية تركيبها و توزيع الشحنة و الكتلة بداخلها ولكنّه فشل في الإجابة على أسئلة أخرى مثل شرح معادلة بالمر- رايدبرج للإشعاع ذرة الهيدروجين.و عدم انبعاث موجات كهرومغناطيسية من الإلكترونات أثناء دورانها في مداراتها.

فحسب نتائج النظرية الكلاسيكية فإن الإلكترون في مداره حول النواة سوف يطلق شعاع كهرومغناطيسي بصورة متصلة لأنه يتحرك في مسار دائريّ وهذا يعني أنّه يفقد طاقة باستمرار مما سيجعل مدار الإلكترون حلزونيّ يضيق كلما فقد الإلكترون طاقة وفي النهاية سيؤول الإلكترون إلى النواة ويسقط فيها وتتلاشى الذرة مما يتعارض مع كون الذرة مستقرة.

كانت هذه معضلة كبيرة واجهت العلماء حينئذ وبالفعل الأمر محير فعدم استقرار ذرة رذرفورد أو عدم وجودها كان من الممكن أن يغوض نظرية رذرفورد، لكن صحة التجربة كانت هي السبب في صمود نموذجه للذرة.

جاء بعد ذلك العالم نيلز بور الذي حصل على الدكتوراه في الفيزياء عام 1911م والذي أكمل دراسته تحت إشراف العالم طومسون الذي اكتشف الإلكترون، ثم على يد رذرفورد مكتشف نواة الذرة، وسرعان ما اهتدى بور إلى نظريته عن بناء الذرة.

في 1913م نشر بور بحث عن تكوين الذرة في المجلة الفلسفية، ويعتبر هذا البحث من العلامات في علم الفيزياء الحديثة.تقول نظرية بور أن النواة عبارة عن قلب مركزي ثقيل يحمل عدداً من الشحنات الموجبة مساوياً للعدد الذري للذرة ومقدار كل شحنة من الشحنات الموجبة يساوي شحنة الإلكترون. ولكي لا تندفع هذه الإلكترونات نحو النواة افترض بور أنها تدور في مدارات دائرية مركزها النواة.كذلك فسر نظرياً سلاسل طيف ذرة الهيدروجين. فكانت نظريته مزيجاً من نظرية بلانك في تكمية الإشعاع ، ونظرية الفوتونات لأينشتاين ونموذج رذرفورد للذرة. واستطاع بجدارة حساب نصف قطر ذرة الهيدروجين بدقة.

ولكن يؤخذ على نموذج بور أنه لم يتمكن من تفسير أطياف الذرات والأيونات الأكثر تعقيداً من ذرة الهيدروجين حيث تعتبر أبسط أنواع الذرات. لأنها تتكون من نواة بها بروتون واحد، يدور حوله إلكترون واحد.

في عام 1900م، كان ماكس بلانك يعمل أستاذاً مؤقتاً في جامعة ميونخ. وقرر حل لغز الإشعاع الحراري المعروف (بكارثة الأشعة الفوق بنفسجية). قام بلانك باستخدام معادلات ماكسويل الأربعة الخاصة بالموجات الكهرومغناطيسية. لربط الحرارة بتذبذب الجزيئات داخل الجسم. وبدأ يستخدم طرق إحصائية لكي يوزع الطاقة الحرارية إلى فئات وفقاً لترددات الجزيئات. وقام بنشر أبحاثه بين عامي 1897م و 1900م.

طريقة بلانك هذه معروفة الآن بقانون بلانك، وتتفق تماماً مع التجارب العملية. لكن بلانك لم لم يكن سعيدا باستخدام الطرق الإحصائية في حل هذه المشكلة.

في بداية الأمر لم يعرف العلماء أهمية اكتشاف بلانك لكمات الطاقة أو لتقسيمات الطاقة التي قام بها. فقد كانت فكرة تقسيم الطاقة إلى كمات نقطة التحول في تاريخ الفيزياء ، وهي التي جعلت دراسة عالم الذرة ممكناً.

قام أينشتين بتعميم قانون بلانك لتقسيم الطاقة الكلية للحرارة المُشَعة إلى حزم، وتحويل هذا القانون البسيط إلى فكرة ثورية كانت البداية النظرية الكمية لدراسة خواص الضوء والإشعاع.

كل ذلك خدم نيلز بور واستطاع بور بذلك تجنب مشكلة وقوع الإلكترون في النواة. فنموذج بور كان شبيهاً بنموذج "المجموعة

الشمسية" لرازرفورد، لكن يختلف عنه في شيء هام. هو أن الإلكترونات تدور حول النواة في مدارات معيّنة شبيهة بالمحطات. داخل هذه المحطات، الإلكترون في أمان ولا يخشى الوقوع في النواة.

في نموذج بور، تجد النواة، ثم المدار الأول أو المحطة الأولى للإلكترون. ثم المدار الثاني والثالث وهكذا. عندما يقفز إلكترون من مدار خارجي إلى مدار داخلي، فإنه يشع طاقة. وعندما يصل الإلكترون إلى المدار الجديد، يكون في أمان. وإذا اكتسب الإلكترون طاقة، بالتسخين مثلاً، فإن الإلكترون يقفز إلى مدار خارجي ويستقر فيه.

الإلكترون في نموذج بور مثل البلية الزجاج التي تتدحرج على سلالم العمارة. طالما البلية على أحد السلالم، فهي مستقرة في هذا الوضع. أما إذا أعطيت البلية طاقة، كأن ركلتها في اتجاه أعلى السلالم، فهي تستقر على سلمه أو سلمتين أعلى السلمه الأصلية. وإذا فقدت البلية طاقة وضع مثلاً عن طريق السقوط، فإنها تستقر على سلمة أو أكثر أسفل السلمة الأصلية. المهم هنا هو عدم وجود نصف سلمة. القفز إلى أعلى أو إلى أسفل يكون لعدد كامل من السلالم.

بور قال نفس هذا الشيء بالنسبة للإلكترونات في الذرة. الإلكترون يستقر في المدار المسموح له به. والطاقة التي يأخذها أو يعطيها "يشعها" الإلكترون هي طاقة بلانك المسماة "كمه" والتي أسماها أينشتين بالنسبة للضوء "فوتونات".

بعد ذلك استخدم بور نظرية بلانك لحساب الطاقة المسموح بها في مدارات الإلكترون. ووجد أن حساباته تطابق التجارب العملية تماماً لذرة الهيدروجين.

كانت نظرية بور خطوة كبيرة للأمام في فهم تركيب الذرة. لكنها لم تحل كل المشاكل. فعندما حاول بور تطبيق نظريته على ذرات أخرى أكثر تعقيداً من ذرة الهيدروجين، وجد بور مشاكل كثيرة ولم تنجح نظريته. حيث لم تطابق النتائج النظرية النتائج العملية.

حينئذ، تيقن علماء الفيزياء أنهم في حاجة إلى شيء آخر. نظريات نيوتن وماكسويل للموجات الكهرومغناطيسية لم تعد صالحة مع اكتشافات بلانك وبور. وبداء العلماء يدركون أنهم بحاجة إلى فيزياء جديدة.

في هذه الأثناء في معهد كوبنهاجن، بدأ هيزنبرج بدراسة خطوط الطيف للذرات. كان هيزنبرج مهتماً بإيجاد المعادلات الرياضية لخطوط الطيف الخاصة بذرة الهيدروجين. ذرة الهيدروجين لها خط أحمر وخط أزرق وخط بنفسجي. بينما غاز الهيليوم له خطين أصفرين يقتربان من بعضهما. أثناء بحث هيزنبرج عن المعدلات الرياضية، اكتشف أنه يستطيع أن يستخدم فرعاً جديداً من الرياضيات يسمى جبر المصفوفات، وعليه أصبحت دراسته لذرة الهيدروجين تعرف بميكانيكا المصفوفات.

و حتى عام 1913م لم يكن هناك تفسير مرض لظهور الخطوط الطيفية الحادة حتى قدم بور تمديداً ثورياً للنظرية الكمية لتفسير الأطياف الذرية.

ويُعتقد حالياً أن المادة تُشكل 27% من كلتة الكون، 4% فقط هي المادة الطبيعية، والتي تنقسم إلى نوعين رئيسيّين: مادة مضيئة وغير مضيئة، وتُشكل الأولى 0.4% من كتلة الكون، في حين أن الثانية تُشكل 3.6% من كتله. أما الـ23% الأخرى فهي المادة المظلمة، والـ73% الباقية هي المادة المظلمة. المادة يُمكن أن تكون في حالات مختلفة تحدد هيأتها، وحالات المادة الطبيعية هي بشكل رئيسي أربعة: الصلبة والسائلة والغازية والبلازما. في حين أنه توجد بعض الحالات التي أُنتجت مخبرياً ولا توجد في الطبيعة. وإضافة إلى هذه، توجد بعض الحالات الطبيعية النادرة، والتي لا توجد إلا في أماكن خاصة، مثل نوى النجوم النيوترونية، والتي تكون المادة فيها مسحوقة بسبب الكثافة الشديدة للنجم وتشكل حالة جديدة من المادة.

حالات المادة:

ساد الاعتقاد بان الهواء والماء والنار هم أشكال المادة حتى العصور الوسطى إلى أن تم اكتشاف العناصر الكيميائية وتكونها من تجمع الذرات بروابط كيميائية. وساد في فترة ما الاعتقاد بأن الذرة هي أصغر شيء الوجود وأنها لا تتجزأ، إلى أن اكتشف أن الذرة تتكون من

نواة تحتوي علي عدد من البروتونات (جسيمات موجبة الشحنة) والنيوترونات (جسيمات متعادلة الشحنة) وتدور حولها إلكترونات (جسيمات سالبة الشحنة). واكتشف بعد ذلك أن تلك الجسيمات (باستثناء الإلكترون لأنه يصنف حالياً ضمن الجسيمات الأولية) تتكوّن بدورها من كواركات، وأن الكواركات واللبتونات هي الجسيمات الأساسية المكوّنة للمادة (لكن كون الكواركات واللبتونات أجساماً لا تتجزأ ولا تتكون من شيء – بل هي وحدة البناء الأصغر للمادة – يظل نظرية غير مثبتة).

ولكن مع تطور مفهوم المادة اشتهر ان حالات المادة أربعة هي:

توجد أربعة حالات رئيسية معروفة من المادة، ثلاثة منها موجودة في الطبيعة على كوكب الأرض، وهي "الصلبة" و"السائلة" و"الغازية". وفقا لنوع القوى التي تربط بين جزيئات المادة. فعندما تكون قوى الترابط قوية فان المادة تتواجد في حالتها الصلبة و عندما تكون قوة الترابط متوسطة فان المادة تتواجد في حالتها السائلة وعندما تكون هذه القوة ضعيفة جدا يكون ذلك مميزا للحالة الغازية للمادة.

هذا و توجد حالة رابعة للمادة يطلق عليها حالة البلازما. و تتكون البلازما من خليط من الأيونات السالبة و الموجبة مع الذرات المتعادلة في درجات حرارة عالية جدا. و تعد الشمس و النجوم مثالا لحالة البلازما. أما الموجودة على الأرض فهي الحالات الثلاث الأول والموجودة في الفضاء الخارجي، هي "البلازما". وهناك بضعة الحالات

أخرى غير موجودة في الطبيعة وتم إنتاجها في المختبرات فقط، ومنها "السائل فائق الميوعة" و"كثافة بوز-آينشتاين". و تعتمد كل حالة من حالات المادة على الضغط و درجة الحرارة. و يمكن أن تتحول المادة من إحدى صورها إلى صورة أخرى تحت تأثير هاذين العاملين. فمثلا لو انخفضت درجة حرارة الماء (حالة سائلة) لتحول إلى جليد (حالة صلبة) و هذا التحول له تأثير كبير على تركيب المادة و بالتالي على خصائصها. حيث أن تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة يكون مصاحباً بزيادة في الحجم و بذلك يحدث ما يسمى بالانزلاق الأرضي و غيرة من المخاطر.

تحولات المادة من صورة لأخرى:

التجميد:

تحول المادة السائلة إلى الصلبة.

الانصهار:

تحول المادة الصلبة إلى سائلة.

التسامي:

تحول المادة الصلبة إلى غاز مباشرة دون المرور بالحالة السائلة.

التبخر:

تحول المادة السائلة إلى غازية

أما البلازما فلا توجد تسميات شائعة لتغيرها.

تغير الطور:

في العلوم الفيزيائية، الطور هو تلك المنطقة (في نظام دينامي حراري)، تكون فيها الخواص الفيزيائية متجانسة.

أنواع الأطوار:

الحالة الغازية، والحالة السائلة والحالة الصلبة للمادة. ويطلق الطور على أحد الحالات لنظام فيزيائي ذو تركيب كيمائي متجانس وخواص فيزيائية متجانسة. ومن الأمثلة على هذه الخواص الفيزيائية الكثافة والتركيب الكيميائي وقرينة الانكسار وما إلى ذلك. في النظام المكون من الثلج والماء الموجود في حاوية الثلج، يكون الثلج الطور الأول، والماء الطور الثاني، والهواء الرطب فوق الماء يكون الطور الثالث.

يشير مصطلح طور أيضا إلى مجموعة من حالات التوازن المحددة بمتغيرات الحالة مثل الضغط ودرجة الحرارة وبحدود الطور في مخطط الطور. ولأن حدود الطور تتعلق بالتغيرات في تنظيم المادة، مثل

التغير من المائع إلى الصلب أو التحول من أحد الأشكال البلورية إلى آخر، فإن هذا الاستخدام الأخير مشابه لاستخدام "طور" كمرادف لحالة المادة.

وفي عصرنا الحديث تعلمنا وجود حالة رابعة للمادة وتسمى البلازما وهي حالة المادة الغازية في درجة حرارة عالية جدا ، و تصبح مادة متأينة حيث تفقد الذرات إلكترونات وينتج سحابة شديدة الحرارة مكونة من الإلكترونات و أنوية الذرات.

منحنى الأطوار:

منحنيات الأطوار هي رسوم بيانية ثنائية الأبعاد لمادة معينة مثل الماء مثلا، تبين علاقة وجود الحالات الثلاثة للماء: الحالة السائلة، والحالة الغازية (بخار)، والحالة الصلبة (الثلج) تحت تأثير تغير الضغط والحجم. وتبين العلاقة بين درجة الحرارة والضغط عند حجم ثابت. وأحيانا تُرسم العلاقة بين الضغط والحجم عند درجة حرارة ثابتة.

ويبين أطوار أحد المواد عند تغير الضغط بتغير درجة الحرارة تحت حجم ثابت.

كذلك عند اختيار درجة حرارة متوسطة وزيادة الضغط على بخار المادة فإننا نصل عند ضغط معين إلى منحني انتقال بخار المادة إلى طور السائل.

كما تتوجد الثلاثة أطوار للمادة في نقطة واحدة وسطية تسمي بالإنجليزية Triplpoint. وتتميز النقطة الثلاثية Triplpoint بدرجة حرارة معينة و ضغط معين ، وحجم معين. وهي تختلف من مادة لمادة.

المواد الصلبة:

الذرات في المادة الصلبة تكون مترابطة وقريبة جداً، بحيث لا يُمكن تحريكها بسهولة، وهذا ما يجعلها صلبة. ولكن مع ذلك، الذرات في المادة الصلبة تتحرك باستمرار حتى لو لم يكن ذلك واضحاً، حيث أنها تهتز بشكل مستمر. ومن المُمكن معرفة ما إذا كانت المادة صلبة بمعاينة ما إذا كان لها شكل مُحدد، ففي حال كان لها شكل مُحدد لا يُمكن تغييره بسهولة فهي صلبة. وأيضاً يُمكن كسر المادة الصلبة بحيث لا تعود لشكلها الأصلي بينما يُمكن للغازات والسوائل العودة لأشكالهما الأصلية (وهذا رغم أن أشكالهم غير ثابتة). ومن أمثلة المواد الصلبة الصخر والخشب.

المواد السائلة:

الذرات في المادة السائلة تكون مترابطة وقريبة من بعضها، لكنها تتدفق بحرية حول بعضها البعض. والفرق بينها وبين الحالة الصلبة هو قدرة الذرات على التدفق والحركة بحرية فيها. تملك المادة السائلة حجماً ثابتاً لا يتغير بسهولة. وهذا بالرغم من أن شكلها غير ثابت أبداً، وهو

يعتمد على الوعاء الذي يحويها. وعلى عكس الغازات، تملك السوائل لزوجة. ومن الأمثلة على الحالة السائلة الماء.

المواد الغازية:

أقل حالات المادة ترابطاً هي الحالة الغازيّة. يُمكن أن تتحرك الذرات فيها بحرية تامة وفي أي اتجاه. وعلى عكس المواد الصلبة، الغاز لا يَملك شكلاً أو حتى حجماً محدداً، بالرغم من أن السوائل حتى تملك أحجاماً محددة. وبهذا فيُمكن بسهولة كبيرة ضغط الغاز في وعاء صغير. ومن أمثلته الهواء

البلازما:

هي حالة متميزة من حالات المادة يمكن وصفها بأنها غاز متأين تكون فيه الإلكترونات حرة وغير مرتبطة بالذرة أو بالجزيء (أي أن الذرة تكون بروتونات ونيوترونات دون إلكترونات). على النقيض من الغازات فإن للبلازما صفاتها الخاصة. يؤدي التأين لخروج واحد أو أكثر من الإلكترونات عند تسليط حرارة أو طاقة معينة. هذه الشحنة الكهربائية تجعل البلازما موصلة للكهرباء ولذلك ستستجيب بقوة للمجال الكهرومغناطيسي. ومن أمثلة البلازما البرق وسطح الشمس.

المادة المعتمة:

في علم الفلك المادة المعتمة تعبير أطلق علي مادة مفترضة لا يمكن قياسها إلا من خلال تأثيرات الجاذبية الخاصة بها والتي بدونها لا تستقيم حسابيا العديد من نماذج تفسير الانفجار الأول للكون وحركة المجرات. ويعتقد ان هذه المادة تتكون من جسيمات لايمكن قياسها بالإمكانات العلمية الحالية أو أنها تقع في أبعاد أخرى غير الأبعاد الأربعة المعروفة.

بينما الطاقة المظلمة، أحد الأشكال الافتراضية للطاقة التي تملأ الفضاء والتي تملك ضغطاً سالبا. وفق النسبية العامة، تأثير مثل هذا الضغط السالب يكون مشابها كيفيا لقوة معاكسة للجاذبية في المقاييس الكبيرة. افتراض مثل هذا التأثير هو الأكثر شعبية حاليا لتفسير تمدد الكون بمعدل متسارع، كما يشكل تفسيرا معقولا لجزء كبير من المادة المفقودة في الفضاء الكوني.

قرين المادة:

في النصف الأول من القرن العشرين كان أحد الفيزيائين الإنجليز – واسمه ديراك Dirak – يقوم بأبحاث على معادلات الالكترونات، والالكترونات كما نعلم هي الجسيمات السالبة الشحنة التي تدور حول نواة الذرة، وفي أثناء قيامه بهذه الأبحاث اكتشف أن المعادلات لها حلين

وليس حل واحد. وأي واحد منا تعامل مع معادلات الدرجة الثانية يستطيع أن يدرك بسهولة هذا الموقف.

وقد كانت معادلات ديراك أكثر تعقيدا من هذا المثال ولكن المبدأ هو نفسه، فقد حصل على مجموعتين من المعادلات إحداهما للالكترونات السالبة الشحنة والأخرى لجسم مجهول ذو شحنة موجبة. وقد قام ديراك ببعض المحاولات غير الناجحة لتفسير سر هذا الجسيم المجهول، فقد كان يؤمن بوجوده، ولكن الفيزيائيين تجاهلوا بعد ذلك فكرة وجود جسيم موجب الشحنة ممكن أن يكون قرينا للالكترونات تماما كما يتجاهل المهندس الذي يتعامل مع معادلات الدرجة الثانية الحلول التي تعطى أطوالا أو كتلا سالبة.

وبعد عدة سنوات من أعمال ديراك النظرية وفي أوائل الثلاثينات اكتشفت أثار هذا الجسيم المجهول في جهاز يسمى بغرفة الضباب (cloud chambre)، وعند دراسة تأثير المجال المغناطيسي على هذه الآثار اكتشف أن كتلة ذلك الجسيم تساوي كتلة الالكترون وانه يحمل شحنة موجبة ومساوية لشحنة الالكترون وعندئذ سمى هذا الجسيم بقرين الالكترون (Antielectron) أو بالبوزيترون (Positron) ومن ثم بدأ البحث عن قرائن الجسيمات الأخرى فمعنى وجود قرين للالكترون وجود قرائن للجسيمات الأخرى، وفعلا بدأ اكتشاف هذه القرائن الواحد

يلي الآخر وبدأ تقسيمها إلى أنواع لن ندخل في تفاصيلها وسوف نكتفي بذكر نتيجتها النهائية وهي وجود قرين لكل جسيم بل ولكل جسم.

واكتشاف قرين المادة يخبرنا باحتمال وجود عالم آخر يناظر عالمنا المادي ويتكون من قرائن الجسيمات أي من قرين المادة. أي هو هذا العالم الذي يتكون من قرين المادة ؟ هذا هو السؤال الذي لم يستطع أحد الإجابة عليه، فالأرض تتكون أساسا من مادة وليس من قرائن المادة، أما قرائن المادة التي يتم إنتاجها في الأشعة الكونية (cosmic rays) أو في معجلات الجسيمات (Particle accelerator) لا تعيش مدة طويلة في الأجواء الأرضية، فبمجرد أن تنخفض سرعتها بعض الشيء تحتم عليها أن تواجه مصيرها المؤلم الذي لا تستطيع الفرار منه وهو المحق أو الإبادة بواسطة المادة المقابلة لها التي تملأ أجواء الأرض. فعندما يتقابل الجسيم مع قرينه أو المادة مع قرينها يبدد كل منهما الآخر ويختفي الاثنان في شيء يشبه الإنفجار متحولين كليهما إلى طاقة معظمها في صورة أشعة جاما.

كُثافة بوز ـ آينشتاين

لمحة عامة:

ساتـيـِندرا ناث بوز (Satyendra Nath Bose) فيزيائي هندي، ولد في كلكتا بالهند وعمل في جامعات كلكتا ودكا، حتى أطلق عليه لقب أستاذ الهند في عام 1958. نشر بوز مقالة بعنوان (قانون بلانك وفرضية كميات الضوء)عام (1924) أعطى فيها تقريباً إحصائياً لاشتقاق قانون بلانك لإشعاع الجسم الأسود، كان ذلك أثناء دراسته للفكرة القائلة بان الضوء يأتي من جزيئات منفصلة من الضوء (فوتونات). وقد قادته هذه المقالة للعمل مع ألبرت أينشتاين.بجانب ذلك تميز بوز في مجالات الميكانيكا الإحصائية. وبحث في عدة جوانب منها الخصائص الكهرومغناطيسية للايونوسفير ونظريات بلورية الأشعة السينية ونظرية المجال الموحد.

يفترض بوز في بحثه حول قانون بلانك قواعد معينة لتحديد الوقت الذي يمكن أن يكون اثنين من الفوتونات متطابقة أو مختلفة. وهذا ما نسميه الآن ب"إحصاء بوز" (أو أحيانا "إحصاء بوز آينشتاين"). ولان بوز لم يكن حينها عالماً معروفاً بالقدر الكبير بين أوساط الجاليات العلمية لم يتمكن من نشر أفكاره في المجلات المعروفة. وبعد برهة من الزمن قاده تفكيره العميق إلى إرسال رسالة للعالم الشهير اينشتاين (Alber Einstein) يطلعه فيها على عمله ويطلب منه مد يد العون.

وبالفعل أدرك اينشتاين أهمية هذا العمل وقام من فوره بمساعدته على نشره وفي عام 1925م نشر اينشتاين الإحصائيات الناتجة والتي سميت لاحقا "إحصائية بوز اينشتاين" حيث وجد أن غاز من البوزونات يتصرف بشكل مختلف عن أي غاز كلاسيكي عند درجات الحرارة المنخفضة وبالخصوص عند الدرجة الحرجة منها حيث يشغل جزء عياني من الذرات حالة كمية واحدة وهي ما يطلق عليه الآن بتكاثف بوز اينشتاين واختصاراً (BEC).

ولم يضف اسم اينشتاين لأنه استغل نفوذه في نشر البحث فقط بل لأنه أضاف ملاحظة مفادها أن الإحصائيات الجديدة ممكن أن تمتد من الفوتونات لتطال الجزيئات ذات الكتل الكبيرة. في درجات الحرارة شديدة البرودة. ولكن اينشتاين واجه معارضة من قبل الكثير من الفيزيائيين في بادئ الأمر والغريب أنه لم يكن متأكدا من أنه كان على صواب إلا أن الأمر في ذلك الوقت كان نصف الصحيح أو اقل من ذلك بقليل فليس كل أنواع الذرات فعلا تتبع القواعد لإحصاءات بوز ومع ذلك ، كانت الصواب في كثير من تنبؤات آينشتاين. ولكن حتى بالنسبة لتلك الأنواع من الذرات التي تتبع تنبؤاته، قال اينشتاين انه لم يكن يدرك ويتوقع أهمية آثار معادلاته.

ولو فرضنا أننا سألنا اينشتاين سؤال كيف يمكن ذلك؟. كيف أنّ جميع الذرات ستكون في مستوى واحد من هذا القبيل. وهو ما يستوجب

أنَّ جميع الذرات هي متطابقة تماما.و لا يوجد ما يميزها عن بعضها البعض. ولعل هذا ما جعل العلماء يُعارضُوه في ذلك الوقت. ولذلك لم يتمكن الناس في ذلك الوقت من فهم BEC والحقيقة أن الذرات يمكن أن تكون في مكان واحد ولكن يختلف عما هو حولنا وعند درجات الحرارة المنخفضة بشكل لا يصدق وهي درجة الحرارة اللازمة لتكوين BEC فان الذرات تفقد هويتها الشخصية وتندمج لتصبح على شكل فقاعة واحدة أو كما نسميها الذرات الفائقة.

لبناء هذه المادة - BEC - استغرق الأمر 70 عاما وذلك ليتحقق مفهوم تكثيف بوز آينشتاين في الغاز. فكان أول من أنجزه اريك كورنيل وكارل ويمان في بولدر بولاية كولورادو في عام 1995. فعلوا ذلك بتبريد الذرات إلى درجة حرارة منخفضة جداً. وباستخدام ضوء الليزر البارد. ولا تظن أن المعدات بسيطة لتكوين هذه المادة فهناك مائدة كاملة مرتبطة بمعدات الليزر، وجهاز كمبيوتر ومجموعة من المعدات الإلكترونية الأخرى للسيطرة على كل شيء وجعل القياسات دقيقة.

تم التبريد إلى درجة حرارة أقل من واحد على مليون من درجة فوق الصفر المطلق، الذي هو أدنى من درجة حرارة وجدت في أعماق الفضاء الخارجي.) ويتم ذلك عادة على مرحلتين. مثل اخذ مقلاة من الفرن الساخن وتركه لتبرد في الهواء أولا ، ومن ثم تغميسه في الماء المثلج. إلا ان الخطوة الأولى هنا هي أن تبرِّد قوة ضوء الليزر الذرات

وتعزلها في الوقت ذاته عن الوسط المحيط ونسلط ضوء الليزر على الذرات لتبريد منهم حوالي 10/1،000 لدرجة فوق الصفر المطلق ، والخطوة الثانية فنستعمل الحقول المغنطيسية لعزل الذرات عن الوسط المحيط، كما نبرِّدها بوساطة التبخير.

الليزر:

الليزر LASER وهي اختصار لعبارة Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation وتعني (تضخيم الضوء بانبعاث الإشعاع المحفز).

وهو عبارة عن حزمة ضوئية ذات فوتونات تشترك في ترددها وتتطابق موجاتها بحيث تحدث ظاهرة التداخل البناء بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية. ويمكن تشبيه نبضة شعاع الليزر بالكتيبة العسكرية حيث يتقدم جميع العسكر بخطوات متوافقة منتظمة، بينما يشع المصدر الضوئي العادي موجات ضوئية مبعثرة غير منتظمة فلا يكون لها قوة الليزر. وباستخدام بلورات لمواد مناسبة(مثل الياقوت الأحمر) عالية النقاوة يمكن تحفيز إنتاجها لأشعة ضوئية من لون واحد أي ذو طول موجة واحدة وكذلك في طور موجي واحد، وعند تطابقها مع بعضها وانعكاسها عدة مرات بين مرآتين داخل بلورة الليزر (تصبح كالعسكر في الكتيبة)، فتنتظم الموجات وتتداخل وتخرج من الجهاز بالطاقة الكبيرة المرغوب فيها.

وقد تنبأ بوجود الليزر العالم ألبرت اينشتاين في 1917 حيث وضع الأساس النظري لعملية الانبعاث المستحث stimulated emission وتم تصميم أول جهاز ليزر في 1960 بواسطة العالم ميمان T.H. Maimanباستخدام بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت Ruby laser.

يوجد في الكون 100 نوع مختلف من الذرات وكل شيء حولنا هو مكون من الـــ 100 ذرة تلك، ولكن كيف تتحد وتترابط الذرات مع بعضها البعض لتكون المواد مثل الماء المكون من ذرتين هيدروجين وذرة أكسجين أو كيف تكونت قطعة من الحديد أو النحاس. إن الذرات في حركة مستمرة حيث تتذبذب الذرات حول موضع استقرارها في المادة كما أن الذرات لها حركة دائرية أو حركة انتقالية أيضاً. فلو نظرت إلى طاولة خشبية مثلاً وبالرغم من أنها ثابتة في مكانها إلى أنها ذراتها التي كونت الخشب في حركة مستمرة.

نتيجة لحركة الذرات التي تكتسبها من الطاقة الحرارية فإنها تتواجد في حالات مختلفة من الإثارة أو بمعنى آخر أن الذرات لها طاقات مختلفة، فلو زودت ذرة ما بكمية من الطاقة فإن الذرة تنتقل من المستوى الأرضي ground state الذي تتواجد فيه إلى مستوى طاقة أعلى يسمى بمستوى الإثارة excited state. يعتمد مستوى الإثارة على كمية الطاقة التي ذودت بها الذرة ومصدر الطاقة إما حرارة أو ضوء أو كهرباء.

عندما ينتقل الإلكترون إلى المدار ذو مستوى الطاقة الأعلى فإنه ما يلبث إلا أن يعود وينتقل إلى المستوى الطاقة الأدنى، وعندها فإن الإلكترون يحرر طاقة في صورة فوتون (ضوء).

تصدر الإلكترونات الفوتونات عند إثارتها وعلى سبيل المثال عند تسخين معدن مثل سلك السخان الكهربي فإنه يتحول لونه من اللون المعتم إلى اللون المتوهج وهذا التوهج ناتج من الفوتونات التي انطلقت بعد إثارة ذرات مادة سلك السخان الكهربي. كذلك لو فكرنا في فكرة عمل شاشة التلفزيون فهي تعطي الصورة من خلال الفوتونات التي تنتجها مادة الشاشة (الفوسفور) عند إثارتها بشعاع إلكتروني.

لتعريف مبسط لليزر نقول معتمدين على الشرح السابق أنه جهاز يقوم بالتحكم في كيفية تحرير الذرات للفوتونات.

وكما ذكرنا فإن كلمة ليزر هي اختصار للجملة light amplification by stimulated emission of radiation والتي معناها يشرح بالتفصيل فكرة عمل الليزر والذي يعتمد على إن الليزر ماهو إلا ضوء مكبر بواسطة عملية تسمى الانبعاث المستحث للإشعاع وهذا ما قصدنا به التحكم بكيفية تحرير الذرة للفوتون.

بالرغم من وجود عدة أنواع من الليزر إلا إنهم جميعاً يشتركون في نفس الخصائص. ففي الليزر يوجد المادة التي تنتج الليزر يتم إثارتها بواسطة عملية ضخ pumping للإلكترونات من المستوى

الأرضي إلى مستوى الإثارة. يستخدم للضخ الإلكتروني ضوء فلاش قوي أو بواسطة التفريغ الكهربي ويساعد هذا الضخ على تزويد أكبر قدر ممكن من الإلكترونات لتنتقل إلى مستويات الطاقة الأعلى فتصبح مادة الليزر مكونة من ذرات ذات إلكترونات مثارة ونسميها بالذرة المثارة. ومن الجدير بالذكر أن أنه من الضروري جداً إثارة عدد كبير من الذرات للحصول على ليزر وتسمى هذه العملية بانقلاب التعداد population inversion أي جعل عدد الذرات المثارة في مادة الليزر أكبر من عدد الذرات الغير مثارة.

أنواع الليزر:

موجات من الليزر متوفرة تجاريا. أنواع الليزر المبينة أعلاه تعطي خطوط الليزر المتميزة وطول الموجة. ونذكر أدناه أنواع الليزر التي تصدر ضوءا في نطاق الموجة الطويلة، والتقنية المتبعة واللون ونوع مادة الليزر.

الليزر الغازي:

تستخدم غازات كثيرة لإنتاج شعاع الليزر، وهي تستخدم في أغراض كثيرة.. (HeNe) ليزر الهيليوم النيون الذي ينبعث في مجموعة متنوعة من الموجات في نطاق 633 نانومتر، وهو شائع في التعليم نظرا لتكلفتها المنخفضة.

ليزر ثاني أكسيد الكربون:

يمكن أن ينبعث بقدرة عدة مئات كيلووات عند 9.6 ميكرومتر و 10.6 ميكرومتر، وغالبا ما تستخدم في صناعة القطع واللحام. تبلغ كفاءة ليزر ثاني أكسيد الكربون أكثر من 10 ٪.

ليزر أيون الأرجون:

ينبعث ضوء في نطاق طول الموجة من 351 نانومتر إلى- 528.7 نانومتر. اعتمادا على البصريات وأنبوب الليزر، وعلى عدد مختلف من الخطوط الصالحة للاستعمال، لكن الخطوط الأكثر شيوعا هي 458 نانومتر و488 نانومتر و514.5 نانومتر. والنيتروجين عرضية التفريغ الكهربائي في الغاز عند الضغط الجوي. الليزر الغازي رخيص والأشعة فوق البنفسجية الناتجة لها طول موجة 337.1 نانومتر.

المعادن يزر ايون هي ليزر الغاز التي تولد موجات الأشعة فوق البنفسجية العميقة. الهليوم—فضية (224 HeAg) نانومتر والنيون— النحاس (248 NeCu) نانومتر مثالين. y. هذه الليزر بشكل خاص ls التذبذب الضيقة لأقل من 3 غيغاهيرتز، مما يجعلهم مرشحين للاستخدام.

الليزر الكيميائي:

الليزر الكيميائية تعمل بواسطة تفاعل كيميائي، ويمكن أن تحقق القوى عالية في عملية مستمرة، فعلى سبيل المثال، في ليزر فلوريد

الهيدروجين (2700–2900 نانومتر) وفلوريد الديوتيريوم الليزر (3800 نانومتر) في رد فعل هو مزيج من الهيدروجين أو الديوتريوم الغاز مع نواتج الاحتراق من الاثيلين في ثلاثي فلوريد النتروجين.. كانوا اخترعها جورج C. بيمنتل.

ليزر الجوامد:

مواد الليزر الصلبة تحتوي في العادة على "المنشطات" حيث تشوب بلورة أحادية بالأيونات التي توفر الطاقة اللازمة. وعلى سبيل المثال، كان أول ليزر يعمل هوليزر الروبين وهو مصنوع من بلورة الياقوت (الكروم – أكسيد الألمنيوم). كذلك يستخدم الكروم أو النيوديميوم كمشوبات. وينتمي إلى فئة ليزر الجوامد أيضا ألياف الليزر، باعتبارها وسيلة فعالة وعملية ،وهي تستخدم في الكتابات على المصنوعات وأجزائها، كما تستخدم في لحام المعادن.

ليزر اشباه الموصلات:

هي نوع من أنواع ليزر الجوامد، ولكن في المصطلحات العرفية الليزر "ليزر الحالة الصلبة" تستثني اشباه الموصلات من هذا الاسم.

النيوديميوم هو مشترك تشويب في مختلف البلورات الأحادية، بما في ذلك إيتيريوم (الثانية: ايفو 4)، إيتيريوم فلوريد الليثيوم (الثانية: YLF) وإيتيريوم الألومنيوم العقيق (الثانية: ان دي). كل هذه المشوبات

يمكن ان تنتج ليزر عالي بلنسبة إلى طيف الأشعة تحت الحمراء بطول موجة 1064 نانومتر. وهي تستخدم لقطع المعادن واللحام ووسم المعادن والمواد الأخرى، وأيضا في التحليل الطيفي ولإعادة ضخ صبغة الليزر.

ليزر شبه الموصلات أيضا شائعة الاستعمال في ترددات أو أطوال موجة مختلفة، تستهدم لإنتاج الضوء 532 نانومتر (الأخضر، مرئيا)، 355 نانومتر الأشعة فوق البنفسجية و 266 نانومتر (الأشعة فوق البنفسجية) عندما يكون ضوء تلك الموجات مطلوبا. إتيربيوم، هولميوم، الثوليوم، والإيربيوم هي الأخرى مشتركة في ليزر الجوامد في النطاق 1020-1050 نانومتر. إتيربيوم يستخدم في بلورات مثل روب واي بي دي:، روب واي:، روب واي، روب واي: أنظمة هوائية، روب واي: بنين، روب واي: CaF2، وعادة ما تعمل في مختلف أنحاء 1020-1050 نانومتر. فهي فعالة جدا ويمكن أن تعمل بالطاقة العالية بسبب عيب صغير الكم ارتفاع قوى للغاية في البقول قصير جدا لا يمكن أن يتحقق مع روب واي بي دي:. هولميوم - مخدر يغ بلورات تنبعث منها في 2097 نانومتر وشكل فعال الليزر التي تعمل على أطوال موجات الأشعة تحت الحمراء بقوة تمتصه الأنسجة الحاملة للمياه.. من هو، ان دي عادة ما تعمل في وضع نابض، ومرت عبر الألياف الضوئية الأجهزة الجراحية للمفاصل تطفو على السطح، وإزالة تسوس من الأسنان، وتتبخر والسرطانات، ويطحنون الكلى والمرارة الحجارة.

ليزر الأشعة تحت الحمراء:

يستخدم ليزر الأشعة تحت الحمراء عادة كطيف ذو نبضة قصيرة جدا.ليزر التيتانيوم – الياقوت مشوّب (تي: الياقوت) تنتج غاية القيود الحراريه في ليزر الحالة الصلبة تنشأ عن السلطة صفهم المضخة التي تتبدى في شكل حرارة والطاقة الطاقة الصوتية. هذه الحرارة، وعندما يقترن الحرارية العالية البصرية معامل (د ن / د تي) يمكن أن تؤدي إلى يصور فوتوغرافيا الحرارية، فضلا عن انخفاض كفاءة الكم.. يمكن لهذه الأنواع من المسائل يمكن التغلب عليها عن طريق الصمام الثنائي رواية أخرى، ضخت ليزر الحالة الصلبة، الصمام الثنائي ضخ رقيقة قرص ليزر.. القيود الحرارية في هذا النوع من الليزر يمكن تخفيفها باستخدام هندسة الليزر المتوسطة التي سمك هو أصغر بكثير من قطر شعاع مضخة.. هذا يسمح لمزيد من الانحدار حتى الحرارية في المواد. قرص ليزر رقيقة وقد ثبت أن تنتج ما يصل إلى مستويات كيلووات من الكهرباء.

خصائص ضوء الليزر:

يتميز ضوء الليزر على بقية أنواع الضوء الصادر عن المصادر الطبيعية كالشمس والمصابيح التقليدية والصناعية كالمصابيح الكهربائية بعدة خصائص مهمة تؤهله لاستخدامه في كثير من التطبيقات. ومن أهم هذه الخصائص ما يسمى بالاتجاهية (Directionality) وهي أن شعاع

الليزر له زاوية انفراج (divergence angle) غاية في الصغر بحيث يمكنه أن يسير لمسافات طويلة دون أن تتشتت طاقته. فعلى سبيل المثال فإن زاوية انفراج شعاع ليزر نيون–هيليوم تبلغ جزئين من عشرة آلاف جزء من الدرجة وهذا يعني أنه إذا ما تم إرسال شعاع هذا الليزر من الأرض إلى القمر فسيكون قطره على القمر بحدود كيلومتر ونصف علما بأن المسافة بين الأرض والقمر تبلغ 384 ألف كيلومتر. إن قطر شعاع هذا الليزر يبلغ ملليمترين عند خروجه من الليزر بينما سيكون قطره خمسة ملليمترات فقط بعد أن يسير ألف كيلومتر. وتتحدد زاوية انفراج شعاع الليزر من عدة عوامل أهمها عرض الشعاع عند خروجه من المصدر وطول موجة الإشعاع حيث تتناسب عكسيا مع عرض الشعاع الابتدائي وطرديا مع طول الموجة أي أن الزاوية تقل مع زيادة عرض الشعاع ونقصان طول الموجة. وتستغل خاصية الاتجاهية في تطبيقات كثيرة كقياس المسافات البعيدة والقصيرة على السواء والتأشير على الأهداف بدقة متناهية كما في أنظمة المساحة ورسم الخطوط المستقيمة في أعمال الإنشاءات المختلفة. أما الخاصية الثانية فهي علو شدة ضوء الليزر (high intensity light) وذلك بسبب أن شعاع الليزر له مقطع عرضي صغير جدا قد لا يتجاوز في بعض أنواعه عدة ميكرومترات مربعة وبما أن جميع الطاقة الضوئية الصادرة عن الليزر رغم قلتها تتركز ضمن هذا المقطع الصغير فإنه بالإمكان الحصول على شدة إضاءة قد تزيد بملايين المرات عن شدة الضوء الصادر عن الشمس

أو المصابيح الكهربائية ولهذا فيمكن لشعاع الليزر أن يسير لمسافات كبيرة جدا دون أن يخبو ضوءه. ولتوضيح ذلك فإن ليزر بقدرة واحد واط وبمقطع عرضي مساحته ألف ميكرومتر مربع يعطي ضوء شدته بليون واط لكل متر مربع أي يزيد بمليون مرة عن شدة ضوء الشمس على سطح الأرض. وتستغل هذه الخاصية للضوء في حفر وقطع ولحام المواد بدقة كبيرة وفي إجراء العمليات الجراحية ومعالجة كثير من أمراض العيون والجلد. أما الخاصية الثالثة فهي أحادية اللون (Monochromaticity) حيث أن ضوء الليزر يتكون من حزمة ضيقة جدا من الترددات الضوئية بعكس أنواع الضوء الأخرى التي تتكون من طيف واسع جدا من الترددات ولذا فإنها تبدو للعين كضوء أبيض يحتوي على جميع ألوان الطيف المرئي بينما يبدو ضوء الليزر بلون واحد فقط عالي النقاء. وتستغل هذه الخاصية في استخدام ضوء الليزر كحامل للمعلومات بدلا من الحاملات الراديوية خاصة في أنظمة اتصالات الألياف الضوئية التي تتطلب وجود مصادر ضوئية أحادية اللون أي أن عرض نطاق ترددات ضوءها غاية في الصغر. أما الخاصية الرابعة فهي الترابط (Coherence) وهي أن الترددات التي يتكون منها شعاع الليزر لها نفس الطور (phase) وكذلك نفس الاستقطاب (polarization) وتستغل هذه الخاصية للحصول على أشكال تداخلية (interference patterns) لا يمكن الحصول عليها من خلال استخدام أنواع الضوء الأخرى. ويستخدم التداخل الضوئي (Interferometry) في أشعة الليزر

في تطبيقات لا حصر لها كما في قياس المسافات والسرعات ودراسة تركيب المواد والتصوير ثلاثي الأبعاد. أما الخاصية الخامسة فهي أنه يمكن التحكم بجهاز الليزر بحيث يتم إطلاق ضوءه على شكل نبضات بمعدلات محددة ويمكن كذلك التحكم بعرض النبضة ليصل في بعض التطبيقات إلى عدة أجزاء من مليون بليون جزء من الثانية. ومن خلال تقليل عرض النبضة الضوئية فإنه يمكن الحصول على شدة ضوء غاية في العلو قد تصل إلى آلاف الميجاواطات ولكن لفترات زمنية قصيرة جدا وذلك مهما كانت كمية الطاقة التي تحملها النبضة. وتستخدم هذه الخاصية في تطبيقات لا حصر لها كإذابة أو تبخير المعادن أو قطع ولحام مختلف أنواع المواد أو إجراء العمليات الجراحية أو تسريع التفاعلات الكيميائية وحتى النووية. إن أهم عيوب الليزر هو تدني كفاءة تحويل الطاقة فيه حيث تتراوح بين واحد بالمائة وعشرين بالمائة لمعظم أنواعه وهذا يعني أنه يلزم للحصول على واط واحد من ضوء ليزر كفاءته واحد بالمائة تزويده بمائة واط من الطاقة حيث تضيع التسعة وتسعون واط المتبقية كحرارة في داخل جسم الليزر وهذا يتطلب أنظمة تبريد معقدة خاصة في الأنواع التي تنتج قدرات عالية قد تصل لعدة كيلواطات كليزر ثاني أكسيد الكربون.

تبريد الليزر وكثافة بوز اينشتاين

استخدام الليزر في إنتاج كثافة بوز اينشتاين:

يقوم الليزر هنا بمهمتين هما:

1. تبريد الذرات
2. اقتناص الذرات

أولا: تبريد الذرات

يرتبط كثيراً مفهوم الضوء بالحرارة هذا صحيح فان تعرض أي جسم لضوء في اغلب الحالات يولد حرارة وهنا يبرز السؤال كيف يمكن لليزر أن يبرد الذرات؟

لكي تجد إجابة على هذا السؤال لابد ان نفهم مصطلح درجة الحرارة وببساطة فان درجة الحرارة هي مقياس لما تحويه المادة من الطاقة. واذا تعمقنا أكثر فان درجة الحرارة تزيد من حركة الجزيئات أي كلما ذادت درجة الحرارة فإن جزيئات ستتحرك بسرعة وتكون طاقتها الحركية كبيرة. وكلما كانت الجزيئات أبرد كانت سرعاتها أخفض وطاقتها أقل.

يتطلب التبريد انتزاع طاقة من الجسم وإيداعها في مكان آخر. وقد تمكن العلماء لكوين كثافة بوز اينشتاين من التوصل إلى درجات حرارة في سُحُب من غازات ذرية أقل من نانوكلفن واحد (جزء من المليون من الكلفن) وذلك عن طريق الجمع بين التبريد بالليزر والتبريد بالتبخير. أما الرقم القياسي الحالي، فهو 450 بيكوكلفن (نصف جزء من المليون من الكلفن).

في التبريد بالليزر يُمتص فوتون ليزري وارد ثم يُعاد إصداره في اتجاه مختلف. ووسطيا، يكون لون الفوتون المنتثر منزاحا قليلا نحو الأزرق بالنسبة إلى ضوء الليزر؛ بمعنى أن للفوتون المنتثر طاقة أعلى قليلا من طاقة الفوتون الممتص. وبما أن الطاقة الكلية محفوظة فالفرق في طاقة الفوتون يُنتزع من حركة الذرات ـ أي إن الذرات تتباطأ.

وحين تصبح السحابة الذرية أكثف وأبرد تهيمن على التبريد عمليات أخرى، وبنتيجتها تبقى لدى الذرات بعض الحركة الارتجافية. ويصاحب هذه السيرورات تحرير طاقة من التصادمات بين الذرات والارتدادات العشوائية لدى انتثار الضوء. وتصبح الذرات عند هذا الحد باردة لدرجة تكفي لحصرها بوساطة حقول مغنطيسية. وعادة يتم اختيار الذرات فيها إلكترون مفرد، أي التي يكون لها عزم مغنطيسي. حيث تسلك هذه الذرات سلوك قضبان مغنطيسية صغيرة. وتجعل الحقول المغنطيسية الخارجية الذرات تعوم متغلبة على الثقالة وتبقيها مع بعضها

بعضا. وفي الواقع تشكل الحقول جدرانا غير مرئية تُبقي الذرات ضمن قفص مغنطيسي.

يستطيع التبريد بالتبخير بعد ذلك أن يزيل من المنظومة، بصورة انتقائية، الذرات الأكثر سرعة. ففي مصيدة مغنطيسية تستطيع الدرات الأكثر سرعة أن تبتعد أكثر من غيرها معاكسة جذب القوى المغنطيسية لها، وتستطيع الوصول إلى مناطق تكون فيها شدة الحقل المغنطيسي أكبر من تلك التي في المناطق التي تستطيع الذرات الأبرد الوصول إليها. وحين تواجه الذرات تلك الحقول المغنطيسية الأشد تدخل في تجاوب مع الموجات الراديوية أو الميكروية التي تغير العزم المغنطيسي بطريقة تجعل الذرات تفلت من المصيدة.

طرق قياس درجات حرارة الذرات:

طريقة امتداد السحابة:

إحدى الطرق هي أن ننظر ببساطة إلى امتداد السحابة. فكلما كانت السحابة أكبر كانت درجة حرارة ذراتها أعلى، لأنها تستطيع أن تتحرك مسافة أكبر بعكس القوى المغنطيسية.

طريقة الطاقة الحركية:

وهناك طريقة أخرى هي قياس الطاقة الحركية للذرات. ولهذا يوقف عمل المصيدة المغنطيسية، فيزداد حجم السحابة مع مرور الزمن،

وهذا الازدياد هو طريقة مباشرة لرصد سرعة الذرات، ومن ثم درجة حرارتها. وحين تشاهد سحابة أصغر بعد زمن معين من التمدد، فإن هذا التغير يشير إلى التوصل إلى درجة حرارة أخفض.

اقتناص الذرات:

إن إستعمال ضوء الليزر لا يكون لتبريد الذرات فحسب، بل في «اقتناصها» أيضا؛ أي في إبعادها عن جدران الخلية وإبقائها في عزلة عن درجة الحرارة المحيطة. وفي الواقع يتماثل عملا ضوء الليزر في التبريد وفي الاقتناص؛ ففي الاقتناص يُستعمل ضغط الإشعاع لمعاكسة نزعة الذرات نحو الابتعاد عن مركز الخلية، ويضبط حقل مغنطيسي ضعيف تجاوبَ الذرة بحيث يجعلها تمتص الفوتونات بصفة أساسية من حزمة الليزر المتجهة نحو مركز الخلية. والمحطة النهائية هي دفع جميع الذرات نحو بقعة واحدة وإبقاؤها عندها بفعل قوة ضوء الليزر.

تسمح هذه التقنيات بملء المصيدة الليزرية في غضون دقيقة واحدة بعشرة ملايين ذرة تُلتقط من بخار الروبيديوم الموجود في الخلية في درجة الحرارة العادية. وتبلغ درجة حرارة الذرات المصيدة نحو أربعين جزءا من مليون من الدرجة فوق الصفر المطلق، وهي درجة حرارة فائقة الانخفاض حسب جميع المعايير، ولكنها لا تزال أعلى بمائة مرة من درجة الحرارة اللازمة للحصول على كُثافة بوز-آينشتاين. وبوجود ضوء الليزر، فإن التدافع العشوائي الذي تتلقاه الذرات من جراء

ضربات مختلف فوتونات الضوء (والذي يستحيل تلافيه) يمنع الذرات من الوصول إلى المزيد من البرودة أو الكُثافة.

إن التبريد الليزري لذرة يستخدم الضغط (أو القوة) الناجم عن الصدم الفوتوني المتكرر. تواجه ذرة متحركة بعكس اتجاه حزمة ليزرية ترددا أعلى من ذرة متحركة باتجاه هذه الحزمة الليزرية. وفي التبريد يُضبط تردد الحزمة بحيث تبعثر ذرة سائرة في اتجاه الحزمة عددا من الفوتونات أكبر من الذي تبعثره ذرة سائرة في الاتجاه المعاكس. إن المفعول النهائي لهذه العملية هو خفض سرعة الذرة، وبالتالي تبريدها.

وللتغلب على القيود التي تضعها الضربات العشوائية للفوتونات أوقفنا الليزر عند هذه المرحلة وبدأنا بتشغيل المرحلة الثانية من عملية التبريد. ترتكز هذه المرحلة على الاقتناص المغنطيسي.

التبريد التبخيري:

علمنا أن فكرة المصيدة المغنطيسية تستوجب معاملة الذرة وكأنها قضيب مغنطيسي أي ذرة ذات الكترون منفرد، لذا فهي تخضع لقوة عند وضعها في حقل مغنطيسي وبالتحكم بدقة في شكل الحقل المغنطيسي وبزيادة قوته نسبيا يمكننا استعماله بغية الإمساك بالذرات التي تتحرك في الحقل كما تتحرك الكرات التي تتواثب داخل وعاء عميق. أما في التبريد التبخيري، فإن الذرات الأكثر طاقة تفر من هذا الوعاء، وعندما

تفعل ذلك فهي تحمل معها ما يفوق حصتها من الطاقة تاركة الذرات الباقية في داخل الوعاء أشد برودة.

وتتشابه هذه الحال مع عملية تبرد القهوة، إذ تثب جزيئات الماء الأكثر طاقة من الفنجان نحو جو الغرفة (على شكل بخار)، وهذا ما يقلل من معدل طاقة السائل الباقي في الفنجان. في الوقت نفسه تؤدي تصادمات لا حصر لها بين الجزيئات الباقية في الفنجان إلى توزيع الطاقة المتبقية بالتساوي فيما بينها. إن كُثافة غمامة الذرات المصيدة مغنطيسيا أقل بكثير من كُثافة جزيئات الماء في الفنجان، ولذلك يكمن التحدي في كيفية الحصول على عدد كاف من تصادمات الذرات مع بعضها بعضا، بحيث تتقاسم الطاقة فيما بينها قبل أن تُلفظ إلى خارج المصيدة نتيجة التصادم بإحدى الذرات غير المصيدة الموجودة في الخلية الزجاجية عند درجة الحرارة العادية.

يقوم التبريد التبخيري على أساس أنه في كل لحظة يوجد في الغاز بعض الجسيمات التي تكون ساكنة تقريبا، ويكون بعضها الآخر متحركا بسرعات تزيد كثيرا على السرعة الوسطى. وعندما تُبعد تلك الذرات السريعة، تصبح درجة حرارة الغاز المتبقي منخفضة. وهذه فكرة ليست جديدة، فهي الطريقة التي يُبرد بها فنجان القهوة حينما يُنفخ عليه.

لكن تطبيق التبريد التبخيري على الذرات الفائقة البرودة يتطلب بعض التجهيزات الأكثر تعقيدا من الفم والرئتين. وفي تجارب تكاثف بوز–آينشتاين، يُنفذ التبريد التبخيري عادة في فخ مغنطيسي يمكن تخيله كإناء عميق ذي جدران لامادية. وتفلت الذرات الأعلى طاقة من الإناء. وتنخفض جدران الإناء باستمرار على نحو تتابع فيه الذرات الحارة انفلاتها، وتستمر على ذلك النحو سيرورة تبريد الذرات المتبقية. إن العنصر الجوهري في التبريد التبخيري هو أن على الذرات الأبطأ المتبقية إعادة توزيع طاقاتها، حيث ينتهي قليل منها بعدئذ إلى سرعات عالية (وتُبعد بدورها من الفخ مع استمرار التبخر)، وتصبح الأخريات أبطأ وأبرد. وتحصل إعادة التوزيع هذه عبر تصادمات «جيدة» (ونميزها عن التصادمات «السيئة» مع الذرات المجاورة التي تُخرج الذرات المرغوبة من الفخ). وهذا ما يعطي أفخاخ الميكروية أهميتها. فبتيارات ضئيلة، تتولد حقول قوية تضغط الذرات بقدر أكبر مما تفعله الأفخاخ المعهودة، رافعة بذلك وتيرة التصادمات الجيدة.

في الفخ المغنطيسي الضوئي المعهود (في اليسار)، تتقاطع ست حزم ليزرية (الأحمر) في مركز الحقل المغنطيسي الذي تولده وشيعتان. واستخدام هذه التشكيلة أمر صعب ، لأنها سوف تحجب حتما حزمة أو أكثر.

الحل هو وضع طلاء عاكس واستخدام أربع حزم فقط بدلا من ست حزم. وتوفر الانعكاسات عن الغشاء العاكس الحزمتين المتبقيتين، وتُجمّع الذرات الباردة بالقرب من السطح.

في الفخ المغنطيسي الضوئي المعهود تتقاطع ست حزم ليزرية في مركز الحقل المغنطيسي الذي تولده وشيعتان. واستخدام هذه التشكيلة أمر صعب، لأنها سوف تحجب حتما حزمة أو أكثر.

درجات الحرارة المنخفضة والطبيعة الكمية:

عند درجات الحرارة المنخفضة جدا تصبح الطبيعة الكمية للنظام بالغة الأهمية كما يصبح لإحصائيات اللف المغزلي تأثير كبير يصنف على أساسه الجسيمات. تقسم الجسيمات على هذا الأساس إلى عائلتين هما الفرميونات التي تشكل المادة والبوزونات التي تنقل التفاعلات بين الجسيمات. وهناك نمطان من الجسيمات في مجموعة الفرميونات: فمن جهة هناك اللبتونات التي لا تشارك في التفاعلات الشديدة، ومن جهة أخرى الكواركات المختلفة النكهات والألوان والتي تشارك في كافة التفاعلات. وتحدد شحنات النكهة (وعددها ست) واللون (وعددها ثلاث) للكواركات سلوكها تبعاً للتفاعل الضعيف والقوي. إن البوزونات، وهي موجهات التفاعلات الأساسية الأربعة، هي الفوتون بالنسبة للتفاعل الكهروطيسي، والغليونات للتفاعل الشديد وهي تربط الكواركات فيما بينها، والبوزونات حاملات التفاعل الضعيف، وأخيراً الغرافيتون ناقل

الجاذبية. وقد صُنفت الفرميونات والبوزونات في ثلاث مجموعات في النموذج المعياري، وهو نظرية ذهنية تسمح بالتنبؤ بكافة الظاهرات التي تنتج عن التفاعلات الأساسية باستثناء الجاذبية. ويمكن استنتاج المجموعتين الأخيرتين من الأولى إذ لا يتميز الجسيم فيهما عن جسيمات المجموعة الأولى إلا بالكتلة. فالميون ليس سوى الكترون إنما أثقل قليلاً، وكذلك البتون هو ميون أثقل منه قليلاً. فكما لو كانت الطبيعة قد قد بنت المادة وفق ثلاث مراحل. ويقبل الفيزيائيون بأن النموذج المعياري كان يمكن أن يكون صحيحاً بمجموعة واحدة من الجسيمات.

الفرميونات

هي جسيمات يمكن أن تشكل حالات كمومية مركبة ذات لا تناظر تام نتيجة لذلك فهي تخضع لمبدأ باولي في الانتفاء وتخضع لاحصاء فيرمي–ديراك

حسب مبرهنة احصائيات السبين يجب أن يمتلك الفرميون دورانا أو التفافا أو سبينا (spin) نصف صحيح. تصنف جميع الجسيمات الأولية كفرميونات أو بوزونات، أما الجسيمات المركبة المؤلفة من فرميونات فيمكن أن تكون إما بوزونات أو فرميونات حسب قيمة سبينها الكلي

تؤلف الفرميونات الجسيمات الأولية التي تتشكل منها المادة، وتصنف هذه الفرميونات المادية ضمن مجموعتين: كواركات (التي تضم البروتونات والنيترونات) ولبيتونات (تضم الالكترونات).

ومبدأ انتفاء باولي صاغه باولي عام 1925 ضمن نظرية ميكانيكا الكم وينص على أن أي فرميونين لا يمكن لهما أن يحتلا نفس الحالة الكمومية. ومعنى هذا المبدأ بالنسبة للإلكترونات مثلا، يستحيل أن يكون لإلكترونين في ذرة واحدة ذات أعداد الكم، ساعد هذا المبدأ في بناء الجدول الدوري لأنه يحكم ترتيب الإلكترونات حول النواة

ينبغي التنبه أن هذا المبدأ ليس حصرا على الإلكترونات بل يعم سائر الفرميونات ((نصفية المغزل)) و هنَ الإلكترونات و البروتونات والنيترونات والكواركات و غيرها).

أما البوزونات ((صحيحة دوران المغزل)) كالفوتونات فهي لا تذعن لهذا المبدأ و يمكن لوحدها و أكثر أن يتشاركا ذات الحالة الكمومية

إحصاء فيرمي ديراك في الفيزياء لإنريكو فيرمي و بول ديراك هو دالة توزيع أوجداها منفردين و تحكم احتمالية تواجد إلكترون ما يملك طاقة معينة في حالة كمومية ما، و لا يقتصر التوزيع على الإلكترونات بل سائر جسيمات الشق الأول من الأجسام المتماثلة و هن الفرميونات الذاعنة لمبدأ باولي للإستبعاد ((أو نصفيات المغزل))، أما الشق الثاني و هو البوزونات ((صحيحات المغزل)) كالفوتونات فيرضخن لإحصاء بوز أينشتاين يجدر الإنتباه إلى نقطة غاية في الأهمية هنا و هي إن امتلاك إلكترون (أو فرميون على وجه العموم) لطاقة ما لا تعني إطلاقا أنه سيستحوذ على مستوى الطاقة المقابل (الحالة الكمومية)، بل يجب أن ندرس كذلك شغور هذا المستوى عن طريق حسبان كثافة المستويات عند مستوى الطاقة هذا و بتعميم هذا المبدأ، ينتج لنا أن حسبان تركيز الفرميونات في مستوى طاقة ما يعتمد بشكل أساسي على مرتكزين أساسين:

كثافة المستويات: عدد الأماكن الخالية في هذا المستوى.

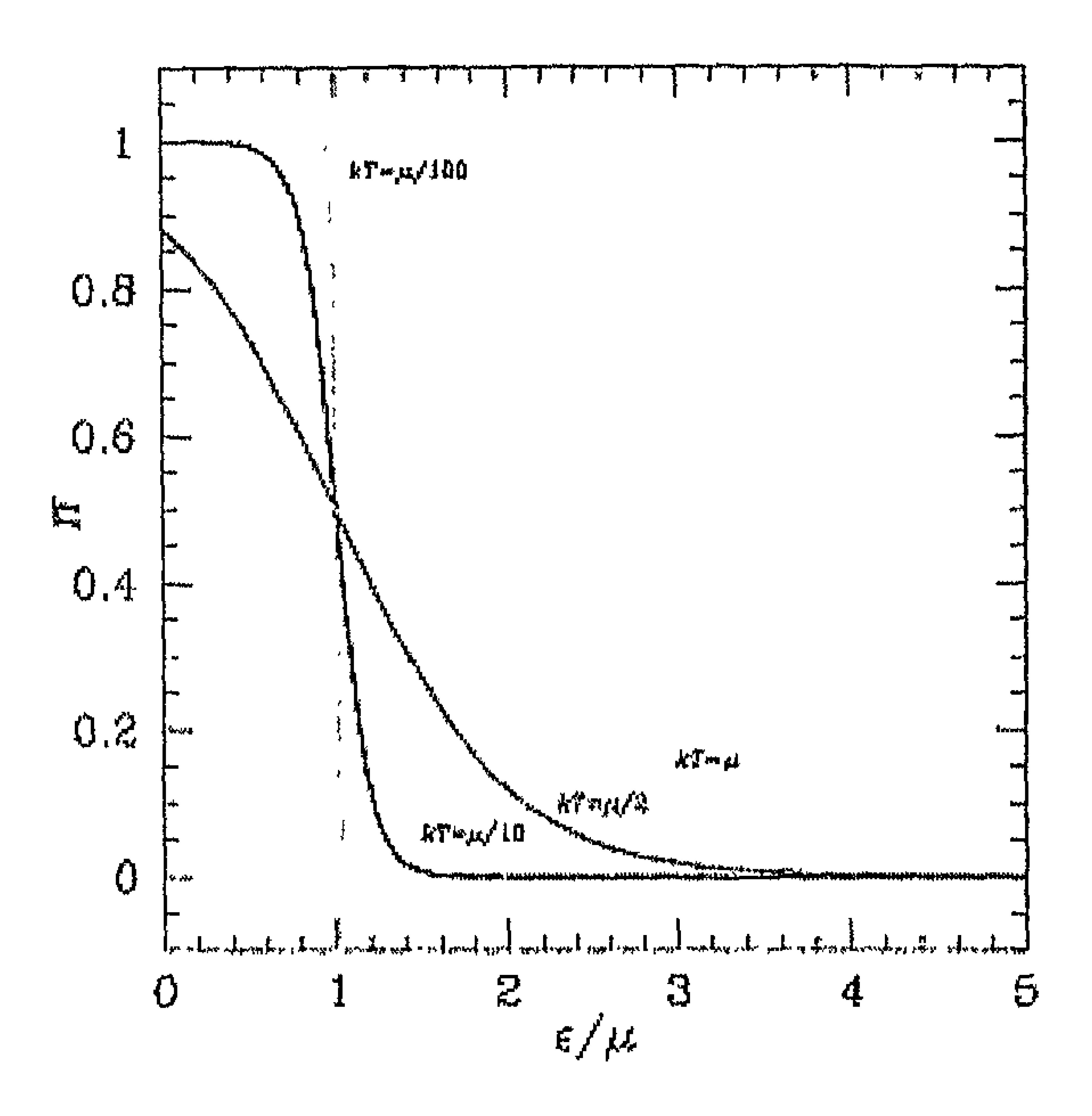
إحصاء فيرمي ديراك: عدد الفرميونات التي تملك طاقة تبلّغها هذا المستوى عند الصفر المطلق يكون التوزيع على هيئة دالة خطوة:

$$f(E) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 < E \leq E_F \\ 0 & \text{if } E_F < E \end{cases}$$

ما معناه أن عند درجة الصفر المطلق:

- احتمالية وجود إلكترون عند مستوى طاقة أقل من طاقة فيرمي هي 100 %
- احتمالية وجود إلكترون عند مستوى طاقة تساوي طاقة فيرمي هي 100 %
- احتمالية وجود إلكترون عند مستوى طاقة أعلى من فيرمي هي 0 %

لكن هذه الإحتماليات تبعا لدرجة الحرارة كما يوضح الرسم.



البوزونات

يمكن للبوزونات أن تشكل حالات كمومية مركبة متناظرة كليا، ونتيجة لذلك فهي تخضع لإحصاء بوز-أينشتاين. تقول مبرهنة إحصائيات السبين أن البوزونات يجب أن تملك سبينا صحيحا، كما أن البوزونات هي الجسيمات الوحيدة القادرة على شغل نفس الحالة الكمومية.

الفرق بين البوزونات والفرميونات:

البوزونات هي إحدى أسرتين، يصنف الفيزيائيون جميع الجسيمات في إحداهما اعتمادا على «الإحصاء» الذي تتبعه كل منهما، أو على سلوكهما الجماعي. فتبقى الدالة الموجية التي تصف تجمعا (جمهرة) من البوزونات هي نفسها عندما يتبادل جسيمان مكانيهما. أما الأسرة الأخرى من الجسيمات فهي الفرميونات، حيث تبدل دالتها الموجية إشارتها (من الموجب إلى السالب أو العكس بالعكس) حين يتبادل جسيمان مكانيهما.

إن الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات هي كلها فرميونات. ويمكن للذرة التي تحوي الأنواع الثلاثة أن تعامل معاملة جسيم (مركب) وحيد. ويعتمد كونها فرميونا أو بوزونا على العدد الإجمالي لمكوناتها. فإذا كان هذا العدد فرديا كانت الذرة فرميونا، أما إذا كان زوجيا كانت الذرة بوزونا. فالنظير المسمى الهليوم-4 مثلا يحوي إلكترونين وبروتونين ونيوترونين مما يجعله بوزونا. خلافا لذلك، فنظير الهليوم-3 لديه إلكترونان وبروتونان ونيوترون واحد فقط فهو لذلك فرميون.

تختلف الفرميونات عن البوزونات في نواح عدة. فالفرميونات تخضع لمبدأ الاستبعاد لباولي الذي يمنع فرميونيْن من أن يشغلا الحالة نفسها ــ فلا يمكن لهما بصورة رئيسة أن يكونا في المكان نفسه في

اللحظة الزمنية نفسها. ولا تنطبق هذه القاعدة على البوزونات؛ إذ يمكن أن توجد بوزونات عديدة في الحالة نفسها تماما.

تشرح هاتان الخاصيتان، المختلفتان اختلافا أساسيا للفرميونات وللبوزونات، العديد من المشاهدات في الفيزياء. والمثال انجيد على ذلك الاختلاف المذهل بين موصل فائق وفلز عادي. إذ يمكن فهم التوصيل الكهربائي للفلزات العادية مباشرة بدلالة خواص الفرميونات (والإلكترونات بالتحديد)، بالمقابل فإن الموصلية الفائقة هي من خواص البوزونات.

تستند نظرية البوزونات المركبة إلى تكافؤ رياضياتي بين إلكترونات تتحرك في بعدين وتجمّع من البوزونات تحمل معها حزمة تدفق مغنطيسي افتراضي. وقد تبين أنه حتى تقلد البوزونات المركبة إحصاء فرمي للإلكترونات، يجب أن يحمل كل بوزون عددا فرديا من كمّات تدفق حقل مغنطيسي افتراضية.

وللبوزونات والفرميونات خصائص مختلفة جداً. فاللف الذاتي للبوزونات معدوم أو صحيح في حين أنه يكون كسرياً عند الفرميونات. والفرميونات لا يمكن أن تتجمع في مكان واحد، فالمادة لا تتراكب. أما البوزونات فيمكن أن تتواجد في النقطة ذاتها، فالفوتون هو بوزون والأشعة الضوئية تتراكب.

ويتضح الفارق بينهما أكثر لدى تبريدها إلى درجات حرارة تُقارب الصفر المطلق. فالفرميونات تخضع لمبدأ باولي في الاستبعاد، الذي يعني أن اثنين منهما لا يمكن أن يشغلا الحالة الكمومية ذاتها، في حين لا ينطبق مثل هذا القيد على البوزونات، الأمر الذي يعني أن عدداً كبيراً من الذرات البوزونية يمكنها أن تتجمع في نفس الحالة الكمومية المستقرة في عملية تكثف بوز – أينشتاين.

شكَّــل بيلين بارديس من معهد ماكس بلانك للبصريات الكمومية في غارشينغ، مع المتعاونين معه في كلٍ من ميونخ وماينز وباريس وأمستردام، كُثافة بوز – أينشتاين من ذرات الروبيديوم – 87 في أول الأمر. ثم بعد ذلك نُقلت هذه الكُثافة إلى شبَكيَّة بصرية ثنائية البعد، وهي عبارة عن صفيف من الآبار الكمومية المُشكَّــلة بتداخل عدَّة حزمٍ ليزرية، بحيث لا تستطيع الذرات الحركة إلا في بعدٍ واحد على طول أنابيب الكمون الضيِّقة.

عندما تُحبس الذرات على هذا النحو يصبح التآثر التنافري، الذي عادةً ما يكون ضعيفاً في الغاز العادي البارد ثلاثي الأبعاد، مهماً ويسعى لفصل الذرات بعضها عن بعض. ونتيجةً لهذا تُمنع الذرات من احتلال المواضع نفسها في المكان، وفعلياً يُقلِّــد مبدأ باولي في استبعاد الفرميونات. وقد أضاف بارديس وزملاؤه شبكيَّة بصرية إضافية على طول الأنابيب لزيادة التآثر التنافري بين البوزونات ولرصد نظام تونكس

- جيراردو، حيث يكون هذا التشبه بالفرميونات (الفرمنة fermionization) أوضح.

ولتأكيد أن غاز تونكس - جيراردو قد تشكّـل، قاس الفريق توزّع اندفاع الذرات في الأنبوب، ووجدوا أنه يتوافق والتنبؤات النظرية. يأمل بارديس وزملاؤه أن يوافقوا التآثرات البوزونية كي يرصدوا سلوكاً مماثلاً للسلوك المُشاهد لدى الفرميونات المُترابطة. فمثلاً، يجب أن يُحوَّل زوجٌ من البوزونات بأناةٍ ليُشكِّـل زوجاً نحاسياً يشبه الإلكترونات في ناقلٍ فائق.

استطاع احد الفيزيائيين ببراعة كبيرة أن يوضح سلوك هذه الجزيئات من خلال رسم لطيف جعل فيه الفرميونات وكأنها أجسام انطوائية تتفادى بأي طريقة الاحتكاك مع جيرانها ، وبالمقابل نراه يصور لنا البوزونات كأجسام اجتماعية لأبعد الحدود بل أنها تصل إلى أوج سعادتها وتألقها حين تكون برفقة الآخرين من بني جنسها.

تحتكم الجسيمات إلى مبدأ باولي للاستبعاد الذي يمثل احد أهم المبادئ الأساسية في الفيزياء الحديثة واستنادا عليه سنقول بان الفرميونات تخضع لهذا المبدأ حيث لا يمكن لاثنين من الفرميونات أن يحتلا نفس الحالة الكمية في وقت واحد.(إن هذا الشرط على سلوك الفرميونات أدى إلى ما عُرف لاحقا بإحصائية فيرمي- ديراك).

بالمقابل سنجد أن البوزونات لا تمتثل لهذا المبدأ مما يعني انه لا حدود لعدد البوزونات التي قد تحتل حالة كمية واحدة وهذا بدوره يؤدي إلى ظهور العديد من الخصائص المثيرة عند درجات الحرارة المنخفضة (هذا الشرط هو الذي أدى بعد ذلك إلى ما يعرف بإحصائية بوز– اينشتاين).

التفاعلات بين الجسيمات:

إن التفاعلات التي تحدث بين شتى الجسيمات تحكمها أربع قوى أساسية، كل قوة منها محمولة على بوزون منفصل أو على مجموعة بوزونات، فالفوتون أو (الكم Quantum) الضوئي، يحمل القوة الكهرومغناطيسية بين الشحنات الكهربائية، والكرافيتون Graviton يحمل القوة التثاقلية بين الكتل، والقوة النووية (شديد strong) تربط بين الكواركات محمولة على ثمانية قليونات Gluons، في حين أن القوة النووية (ضعيف weake) المسؤولة عن بعض التفككات النووية محمولة على بوزونات وسيطة متجهة، ويبدو في الوقت الحاضر أن كل التفاعلات التي تحدث في هذا الكون يمكن اختزالها في اتحادات من هذه التفاعلات الأربعة.

إن السمة الأكثر إثارة على طريق تطور فيزياء هذا القرن، كانت البرهان على أن توحيد هذه القوى يبدأ عند الطاقات العليا أو درجات الحرارة العليا، وبصورة خاصة أثبتت التجارب التي تمت في سيرن

CERN (المختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات في جنيف)، أن القوتين الضعيفة والكهرومغناطيسية تجتمعان في قوة واحدة تسمى (كهروضعيفة) وذلك عندما تتجاوز طاقة التفاعل القيمة Gev 100 (كل Gev 1 غيغاإلكترون فولت = ev 1000000000 مليار إلكترون فولت)، وهذه الطاقة تتوافق مع درجة الحرارة التي كان عليها الكون بعد حوالي 0.0000000001 ثانية من الإنفجار العظيم والتي تقدر بـ 4 ترليون مرة الحرارة على سطح الأرض الآن ، وبعد هذا الإكتشاف تعزز الأمل في إمكانية أن تنضم القوة الشديدة إلى القوة الكهروضعيفة عند طاقة قيمتها Gev 1000000000000000 أي ألف ترليون غيغا إلكترون فولت تقريباً وذلك في إطار نظرية توحيد شاملة (. Grand Unified Th) ومن ثم تنضم عند حوالي 10000000000000000000 Gev أي (10مليون ترليون) قوة الثقالة لتؤلف كلها معاً قوة واحدة وحيدة في إطار ما أسميناه (نظرية كل شيء).

ولقد أكتشف حتى الآن بضع عشرات من هذه الجسيمات الأولية والتي تتمتع بصفات غريبة جداً، فمعظمها غير مستقر وحياتها تقاس بأجزاء المليار من الثانية، ثم تتحول إلى دقائق أولية أخرى بشكل عفوي أو يمكن أن تتلاشى في حين يمكن أن يولد (ينشأ) البعض الآخر، ويعتبر التحول المتبادل بين الدقائق الأولية أحد القوانين المميزة والخاصة بعالم هذه الجسيمات، وأهم ما يميز هذه الجسيمات هو شحنتها الكهربائية وكتلتها.

كثافة بوز- اينشتاين:

نميز بين التكثيف condensation أي العملية التي يجري الحديث عنها في هذا المقال، والتكاثف هي العملية المُعاكسة للتبخر.

يقول الفيزيائي لويس اوروزكو (Luis Orozco) أستاذ الفيزياء في جامعة ماريلاند مشبهاً كثافة بوز-اينشتاين بلعبة كرة القدم كمثالاً جميلا جدا يوضح من خلاله فكرة التماسك التي تكون عليه الذرات عند درجات الحرارة المنخفضة. ففي إستاد كرة القدم تجد الجميع يهتفون بصوت عالي في كل وقت وبشكل جميل وما أن يسجل احد اللاعبين هدف في المرمى حتى تجد مشجعين الفريق يهتفون في الوقت نفسه "هدف"، هذا الصوت عال بشكل لا يصدق وكأنه خرج من فرد واحد إلا انه لا يمكن لأحد منا أن يخرج صوت مماثل له في قوته وجماله. كذلك الذرات عندما تكون منخفضة البرودة تستطيع أن نحقق تماسكاً أفضل بكثير وكأنها تهتف لنا بصوت عالي"هدف". ذلك هو تكثف بوز اينشتاين.

تنص نظرية آينشتاين على أن لذرات الكُثافة أخفض طاقة ممكنة، في حين يمنعها مبدأ هيزنبرگ في الارتياب من التواجد في أسفل قاع المصيدة. ويحل الميكانيك الكمومي هذا التضارب حين يفترض أن طاقة الذرة في أي وعاء لا تأخذ إلا إحدى القيم المتقطعة والمسموح بها، وإن أصغر هذه القيم ليس الصفر تماما. تدعى هذه القيمة الأخفض للطاقة المسموحة بطاقة درجة الصفر zero point energy، ذلك أن الذرات


التي تساوي درجة حرارتها الصفر تماما تمتلك هي أيضا هذه الطاقة الدنيا. وتتحرك الذرات التي تحمل هذه الطاقة ببطء قرب مركز المصيدة ــ ولكن ليس فيه تماما. وإذا كان مبدأ الارتياب (والقوانين الأخرى للميكانيك الكمومي) لا يُرى عادة إلا في سلوك الأجسام دون المجهرية (مثل ذرة وحيدة أو ما دون ذلك) فإن كُثافة بوز–آينشتاين تعد مثالا نادرا لعمل مبدأ الارتياب في العالم الماكروي.

تعد كُثافة بوز–آينشتاين حديثة العهد ومختلفة جدا عن المنظومات المعهودة بحيث لا يمكننا القول ما إذا كان من المحتمل مد فائدتها إلى ما وراء البراهين النظرية للميكانيك الكمومي. ولا يعدو النقاش حول أية تطبيقات عملية للكُثافات عن كونه مجرد تخمينات. ومع ذلك يمكن إدراج تأملاتنا ضمن مشابهة فيزيائية لافتة للانتباه، إذ تشبه الذرات التي تشكل كُثافة بوز–آينشتاين في أوجه كثيرة الفوتونات التي تشكل حزمة الليزر.

إن كُثافة بوز–آينشتاين هي كمية من المادة تتبع في سلوكها واحدًا من أنقى الأشكال الكمومية المعروفة.

إضافة إلى ذلك فالكُثافات ضخمة ــ أكبر بـــ 100 000 مرة من أكبر الذرات العادية، بل هي أكبر من الخلايا البشرية ــ لدرجة أن بإمكان الفيزيائيين أن يشاهدوا السلوك الكمومي للكُثافة بطرق لا يمكن تصورها عادة.

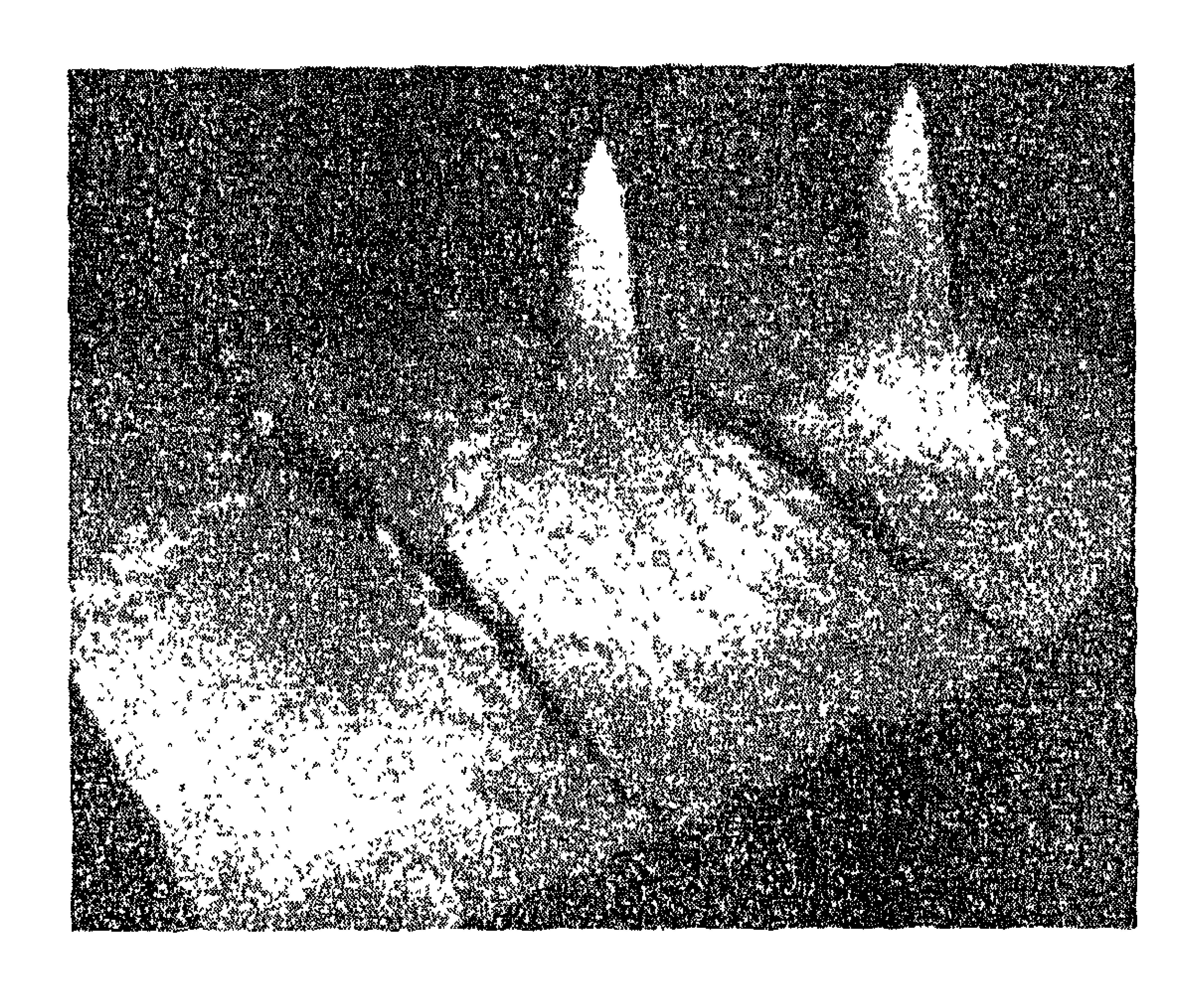
ولقد جرت العديد من الإنجازات التجريبية المدهشة والمتنوعة التي يحصل عليها الفيزيائيون حاليا باستخدام كُثافات بوز – آينشتاين. وتؤكد النتائج بعضًا من الوجوه الكثيرة التي تبديها الكُثافة للتجريبيين: سلوكها كمائع فائق مماثل للهليوم السائل، وكغاز ذري يمكن التحكم فيه بدقة، وكنوع من الحزم الليزرية المؤلفة من المادة بدلاً من الضوء.


a
b
c
d

محاولات معملية لكُثافة بوز- اينشتاين (BEC):

بجهود العلماء اللذين استطاعوا أن يلاحظوا هذه الحالة الجديدة من المادة بشكل تجريبي ولأول مرة سنة 1995م. نعم في هذا الوقت بالتحديد حيث تمكن العلماء اخيراً من تطوير الطرق والتقنيات المستخدمة لتبريد الليزر وحصر الذرات إضافة إلى دمجها بتقنية التبريد التبخيري.

الجدير بالذكر انه في نفس العام تمكنت عدد من المجموعات التجريبية من خلق هذا المتكاثف على أنواع مختلفة من الذرات، ففي بولدر استطاعت المجموعة التجريبية للعالمين ايريك كورنيل(Eric A. Cornell)، وكارل ويمان (Carl E. Wieman) من عمل ذلك باستخدام الربوديوم-87 ، تلى ذلك بشكل سريع تكثيف ناجح للصوديوم-23 في ام أي تي بواسطة ولفجانج كيتيرل، ولليثيوم-7 بواسطة مجموعة هوليت. في كل تلك التجارب حصرت الذرات القلوية في مصيدة مغناطيسية وبردت لدرجات حرارة منخفضة جدا من رتبة المايكرو كالفن كما بالشكل.



صورة التقطت من مختبر المعهد المشترك للفيزياء الفلكية المختبرية (JILA) سابقا في بولدر بولاية كولورادو، تؤكد امكانية العلماء اخيراً من خلق متكاثف بوز اينشتاين تجريبيا ولأول مرة في عام 1995م (لاحظ هنا ان درجات الحرارة تقل من اليسار الى اليمين).

كُثافات بوز -آينشتاين والموائع الفائقة والدوامات:

حين يبرَّد الهليوم السائل إلى نحو 2.2 كلفن فوق الصفر المطلق تحدث بعض الأشياء الغريبة. فكما اكتشف كل من الفيزيائي السوفييتي كابيتسا والكندي آلن في عام 1938 فإن الهليوم دون هذه الدرجة يصبح مائعًا فائقًا superfluid، أي إنه ينساب دون لزوجة إطلاقًا، ويمكنه القيام

بحيل مثل الانزلاق صعودًا على الجدران والخروج من الوعاء المفتوح. إن تكاثف بوز -آينشتاين في الهليوم يُحدث هذه الآثار.

كان التجريبيون تواقين لأن يروا ما إذا كان بإمكان الكُثافات الغازية أن تبدي الميوعة الفائقة، لكن تحقيق ذلك لم يكن مهمة عادية. فالهليوم الفائق الميوعة يمكن إنتاجه بكميات كبيرة تكفي لأن يشاهد المرء حيله بالعين المجردة، أما الكُثافات الجديدة فهي، على العكس من ذلك، حفنات صغيرة جدا من الغاز بالكاد تكون أكثر كَثافة من الخواء، تحتجزها حقول مغنطيسية دقائق قليلة جدا في أحسن الأحوال. فماذا يعني أن يكون مثل هذا البخار الرقيق مائعًا فائقًا؟

وثمة تأثير مثير يتعلق بإحداث دوامات في مائع فائق دوار. فإذا دوَّرت دلوًا من الهليوم السائل العادي بوضعه على قرص دوار، دار الهليوم السائل مع الدلو تماما مثلما لو كان ماء. أما الهليوم الفائق الميوعة، فهو على العكس من ذلك، يشكل صفيفًا من حركات كمومية تدعى دوّامات vortices. وتتشكل الدوامة الواحدة، عند الحد الأدنى المسموح به من الدوران، وتدور بسرعة في وسط الهليوم وببطء عند الحافات. وإذا حاولت أن تجعل المائع الفائق يدور بصورة أكثر بطئًا بقي ساكنًا من دون حركة.

وتحدث هذه التأثيرات لأن الذرات في الكُثافة تكون في الحالة الكمومية نفسها، ولذلك ينبغي أن يكون لها كلها الاندفاع الزاوي (كمية

الحركة الزاوية) angular momentum نفسه. لكن الاندفاع الزاوي لا يوجد إلا في وحدات متميزة discrete units، أو كمّات quanta. ففي حالة السكون يكون الاندفاع الزاوي لجميع الذرات صفرًا، أما في حالة الدوامة فيكون لكل ذرة منها وحدة واحدة.

في عام 1999 قامت مجموعة بحث يقودها ويمان و كورنل بإنتاج دوامات في كُثافات بوز -آينشتاين باستخدام تقنية اقترحها زميلاهما ويليامز.كانت بدايتهما بكُثافة مزدوجة، وهي نظام متعدد الاستخدامات لدرجة عالية ابتكرته المجموعة، يحتوي على كُثافتين متراكبتين مصنوعتين من العنصر نفسه (الروبيديوم) إنما في حالتين كموميتين مختلفتين قليلاً.

تكاثف بوز اينشتاين لذرة روبيديوم Rb:

في شهر 1995/6 تم تبريد نحو ألفي ذرة روبيديوم Rb إلى درجة حرارة تقل عن مئة جزء من بليون من الدرجة فوق الصفر المطلق (أي مئة جزء من بليون من الكلفن) جعل الذرات تفقد هويتها الفردية مدة عشر ثوان كاملة بحيث صارت تسلك بمجملها وكأنها «ذرة عملاقة» superatom مفردة. وبهذا الشكل أصبحت الخواص الفيزيائية للذرات (مثل الحركة) متشابهة. يمكن اعتبار كُثافة بوز-آينشتاين Bose-Einstein condensate BEC ــ والتي اكتشفت للمرة الأولى في

الغازات ــ مقابلا ماديا لليزر؛ باستثناء أن الذرات تتهادى في تناغم تام في حالة الكُثافة بدلا من الفوتونات في حالة الليزر.

تشكِّل هذه العينة القارسة البرودة (والقصيرة العمر) تحقيقا تجريبيا لكثافة بوز اينشتاين.

أثار التقدم في إحداث كُثافات بوز-آينشتاين اهتماما عظيما في المجتمع الفيزيائي، حتى إن الصحافة العادية تحدثت عنه. وقد نبع بعض هذا الاهتمام ــ في البداية ــ من مسيرة المحاولات التي استمرت عقودا طويلة لإثبات نظرية آينشتاين؛ ولكن معظم الافتتان مبعثه حاليا توفير الكُثافات لنافذة ماكروية (عيانية) macroscopic تطل على العالم الغريب للميكانيك الكمومي، وهو نظرية المادة المرتكزة على ملاحظة وجود خواص موجية للجسيمات الأولية (مثل الإلكترونات)، حيث يستعمل الميكانيك الكمومي ــ الذي يضم مبدأ هيزنبرگ في الارتياب ــ الخواص الموجية لوصف بنية المادة وتفاعلاتها.

في مخطط توزع السرعة تظهر الكُثافة كنتوء حاد. إن سرعة ذرات الكُثافة هي في أدنى قيمة ممكنة، ولذلك فهي تتجمع بكُثافة في مركز الغمامة بعد تمدد هذه الأخيرة. وتوفر صورة هذه الكُثافة دليلا إضافيا على قصور الميكانيك الكلاسيكي وذلك بسبب تشكل الكُثافة عند أخفض طاقة ممكنة. ونشير إلى أنه في الميكانيك الكلاسيكي يعني مفهوم «أخفض طاقة» أن على الذرات أن تكون موجودة في مركز المصيدة

وأن تكون معدومة الحركة، وهذا ما يظهرها على شكل قمة دقيقة وطويلة جدا في الصورة التي أخذناها. وتختلف القمة التي حصلنا عليها عن المفهوم الكلاسيكي بسبب التأثيرات الكمومية التي يمكننا اختصارها في أربع كلمات: مبدأ هيزنبرگ في الارتياب.

يحد مبدأ الارتياب من قدر معرفتنا بأي شيء (بما في ذلك الذرات). فكلما زادت دقة معرفتنا بموضع الذرة قلَّت معرفتنا بسرعتها، والعكس بالعكس. لذا لا يمكن أن تكون قمة الكُثافة دقيقة بصورة لانهائية. ولو حدث ذلك لعلمنا أن الذرات كانت في مركز المصيدة بالضبط وأن طاقتها تساوي الصفر بالضبط، ووفقا لمبدأ الارتياب لا يمكننا معرفة هذين المتحولين في الوقت ذاته.

نتائج تكاثف بوز اينشتاين

الهليوم الفائق الميوعة:

حين يبرَّد الهليوم 4 إلى ما دون الدرجة 2.2 كلفن فإنه يكتسب خاصة الميوعة الفائقة المدهشة. يجري هذا السائل دون لزوجة على الإطلاق مما يتيح حدوث أمور فذة مثل نافورة الهليوم (في اليمين). وتحدث حالة الميوعة الفائقة لأن جزءًا (يصل إلى 10 في المئة) من ذرات الهليوم يخضع لتكاثف بوز -آينشتاين. لكن التآثرات الشديدة في السائل بين الذرات تجعل من الصعوبة بمكان إجراء دراسة تفصيلية في الخواص الكمومية المتأصلة في الجزء المتكاثف سواء أكان ذلك نظريا أم تجريبيا.

الليزرات:

يشترك الضوء الصادر عن الليزر في كثير من الصفات مع كُثافة بوز -آينشتاين. فالضوء مؤلف من جسيمات لها صفة الموجات تدعى الفوتونات. وتكون موجات الفوتونات في الضوء العادي، كضوء المصباح الكهربائي، غير متزامنة، في حين تكون الموجات كلها في ضوء الليزر "متفقة في الطور" بمعنى أن قممها ووهادها متراصفة، فالفوتونات تسير بخطوات متزامنة مثلما يسير الجنود في عرض عسكري. وهذا يعني أن الفوتونات موجودة كلها في الحالة الكمومية

نفسها. أما عملية التضخيم التي تولد الحزمة الليزرية فتستفيد من نزعة البوزونات إلى التجمع في الحالة الكمومية نفسها.

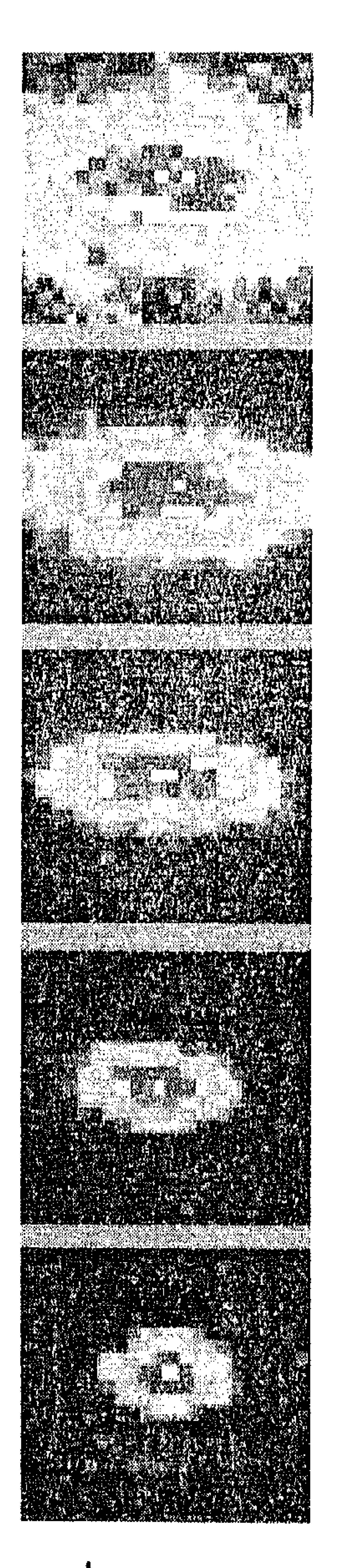
الموصلات الفائقة:

إن تكاثف بوز لأزواج الإلكترونات يولد الموصلية الفائقة، أي سريان التيار الكهربائي دون مقاومة. ولا تستطيع الإلكترونات غير المتزاوجة أن تخضع لتكاثف بوز لأنها فرميونات وليست بوزونات. ولا تتشكل الأزواج الإلكترونية الضعيفة الترابط فيما بينها إلا بشروط معينة مثل وجودها في الألمنيوم المبرَّد إلى الدرجة 1.2 كلفن. ومثل هذه الأزواج هي بوزونات وتخضع في الحال لتكاثف بوز. أما ما يجعل الموصلات الفائقة نظامًا مختلفًا جدا عن الكُثافة المتعادلة الشَحنة المخلخلة فهو تكاثف عملية التزاوج والشحنة الكهربائية للأزواج. وهناك تزاوج وتكاثف مشابهان يحدثان في الهليوم 3 الفائق المِيوعة الذي ذراته هي الفرميونات.

وجّه الباحثون موجات ميكروية وحزمة ليزرية إلى الكُثافة المزدوجة بهدف أن يضفوا إلى إحدى الكُثافتين الطور الكمومي الدوراني المحدد اللازم للدوامة. وهذه العملية التي لا تبدو لأيِ إنسان سوى للفيزيائي الكمومي أنها تؤدي إلى تحريك أي من الذرات، تولد حالة الدوامة الدوارة. وقد تمكنت المجموعة، من خلال تفحص كيفية حدوث التداخل بين الكُثافتين، من أن تتحقق من خواص الطور الكمومي

للدوامة، وهذا شيء لم يسبق تحقيقه بهذه الصورة المباشرة على مدى 60 عامًا من العمل على الهليوم الفائق الميوعة.

وبعد ذلك، في عام 1999، نجحت مجموعة في المدرسة العليا للمعلمين ? école Normale Supérieure بباريس، بقيادة داليبار فيما أخفقت فيه جهود سابقة في مضاهاة طريقة "الدلو الدوار" لتوليد الدوامات. فلإحداث الدوران قام فريق داليبار بتحريك حزمة ليزرية حول حافات المصيدة مولدًا بذلك ما يشبه التشويه الدائري في شكلها. وقد صور هؤلاء الباحثون صفيفات مؤلفة من 14 دوامة(3). وفي مقالة نشرت في الشهر 9/ 2000 ذكروا أنهم قاسوا الاندفاع الزاوي لكُثافاتهم فكانت النتيجة متفقة مع النظرية، إذ يبقى الاندفاع الزاوي صفرًا حتى تظهر أول دوامة وعند ذلك يقفز إلى وحدة كاملة.



تغير القوى المؤثرة بين ذرات الكُثافة حجمها ونسبها. وهنا عدّل الباحثون القوى فحولوها من قوى شديدة التنافر (في الأعلى) إلى قوى معدومة الشدة تقريبًا (في الأسفل). وبسبب زيادة موالفة القوى وجعلها

تجاذبية ضعيفة انهارت الكُثافات وانفجرت مثل مستعرات أعظمية منمنمة.

وإضافة إلى أهمية دينامية الدوامات الكمومية كفيزياء أساسية فهي مهمة أيضا بالنسبة إلى تقانة الموصلات الفائقة عند درجات الحرارة العالية؛ ذلك أن الحقول المغنطيسية تخترق هذه المواد بإحداث صفيف من دوامات التيار الكهربائي في المادة. وتبدد حركة دوامات التدفق هذه طاقةً، مما يفسد خاصة "المقاومة المعدومة" المرغوبة جدا في الموصلات الفائقة. وربما تساعد دراسة كُثافات بوز -آينشتاين على تذليل هذه المشكلة.

الخاتمــة

إن حالة المادة تعتمد عادة على درجة الحرارة وهنالك حالات ثلاث نعايشها يومياً هي: الحالة الصلبة ،السائلة ، الغازية. وحينما نؤين المادة بحيث تخسر الذرات الالكترونات وتكون المادة في حالة الذرات المشحونة ايجابياً مطمورة في غاز الكتروني فإننا حينها سنحصل على البلازما الشكل الرابع من أشكال المادة ويكون ذلك عند درجات الحرارة العالية جداً.

كُثافة بوز- اينشتاين حالة مختلفة جداً من المادة تتكون عند درجة حرارة منخفضة جداً، إنها "مادة كمية". حالة للمادة حيث الجزيئات تخسر هويتها، وتتصرف وفقا لقوانين الفيزياء الكمومي. إن بناء هذه مادة Bose-einstein condensation واختصاراً BEC استغرق 70 عاما وذلك ليتحقق مفهوم تكثيف بوز آينشتاين في الغاز. فكان أول من أنجزه اريك كورنيل وكارل ويمان في بولدر بولاية كولورادو في عام 1995 ونالا جائزة نوبل علي ذلك. فعلوا ذلك بتبريد الذرات إلى درجة حرارة منخفضة جداً. و باستخدام ضوء الليزر البارد.

تم التبريد إلى درجة حرارة أقل من واحد على مليون من درجة فوق الصفر المطلق، الذي هو أدنى من درجة حرارة وجدت في أعماق الفضاء الخارجي. ويتم ذلك عادة على مرحلتين. مثل اخذ مقلاة من الفرن الساخن وتركه لتبرد في الهواء أولا، ومن ثم تغميسه في الماء

المثلج. إلا أن الخطوة الأولى هنا هي أن تبرِّد قوة ضوء الليزر الذرات وتعزلها في الوقت ذاته عن الوسط المحيط ونسلط ضوء الليزر على الذرات لتبريد منهم حوالي 1/10،000الدرجة فوق الصفر المطلق، والخطوة الثانية فنستعمل الحقول المغنطيسية لعزل الذرات عن الوسط المحيط، كما نبرِّدها بوساطة التبخير.

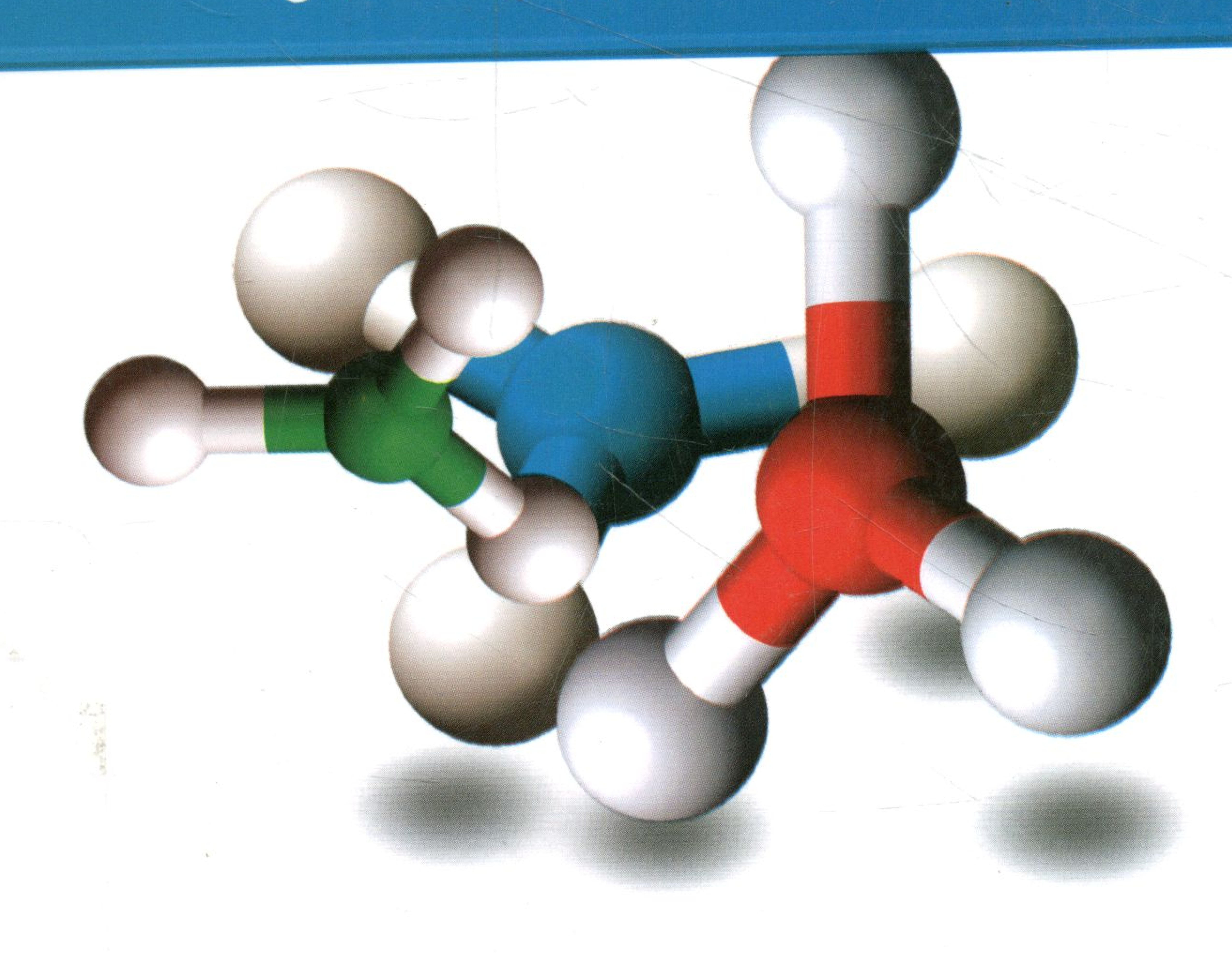
وكما يقول رولستون "فإن صور كُثافات بوز-آينشتاين الغازية التي نعرضها هي صور حقيقية للدوال الموجية الكمومية - إننا بالفعل نستطيع أن نرى الميكانيك الكمومي وهو يعمل."

تُجسّد الكُثافات، إضافة إلى كونها نظمًا كمومية نموذجية، مزيجًا غريبًا من عدة حقول واسعة في الفيزياء: الفيزياء الذرية والبصريات الكمومية وفيزياء الأجسام الصلبة والسوائل والغازات، بما في ذلك عالم الإلكترونات التي تسري في المعادن وفي أشباه الموصلات، ولا تعتمد دراسة الكُثافات على جميع هذه الحقول فحسب، وإنما تسهم بشكل مباشر في فهمنا للقوانين الأساسية التي تحكمها.

المراجـــع

- Bose-Einstein Condensation- R. Roth ،GSI Theory Group.
- Allan Griffin ،D. W. Snoke ،S. Stringari- Bose-Einstein Condensation.
- Bose-Einstein Condensation: An Introduction- Keith Burnett ،Mark Edwards ،Charles W. Clark.
- مجلة العلوم الأمريكية.
- الموسوعة الحرة ويكيبيديا.
- منتدى الفيزياء –د.حازم سكيك.
- ملتقى الفيزيائيين العرب.
- مقال الليزرات الدكتور منصور العبادي/ جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية.

فيزياء
الذرات الفائقة
مدخل الى كثافة بوز أينشتاين








9789957326074

دار الحامد للنشر والتوزيع
الأردن - عمان - ص.ب.: 366 عمان 11941 الأردن
هاتف: 5231081 فاكس: 5235594-009626
E-mail: dar_alhamed@hotmail.com
daralhamed@yahoo.com
www.daralhamed.net